

ASSISTANCE EN ESCALE & TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Livre Blanc

V 1.2



A propos de la CSAE

La Chambre Syndicale des Assistants en Escale (CSAE) regroupe les sociétés rendant des services d'assistance en escale aux compagnies aériennes et à leurs clients sur les aéroports français. Elle représente également des sociétés dont les activités sont proches : formation, location et maintenance matériel de piste, avitaillement, transport de passagers et conseil.

Ses 25 membres emploient environ 24 000 salariés en France.

La CSAE est membre de la FNAM (Fédération Nationale de l'Aviation Marchande).





Didier Montégut, Président de la CSAE

Les assistants en escale français s'engagent depuis plus de 10 ans dans la transition énergétique de leurs activités, notamment en électrifiant leur flotte de véhicules et d'engins de piste aéroportuaires.

La sortie de crise sanitaire marque un véritable coup d'accélérateur dans cette transition, en mettant en évidence la prépondérance des enjeux environnementaux dans les attentes de nos parties prenantes (compagnies aériennes, aéroports, autorités, etc.).

Ce guide est le fruit de plus d'un an de travail collectif au sein de la Commission Environnement de la CSAE. Son but est de mettre en lumière l'avancement de la transition énergétique des flottes, fixer les objectifs 2030 et 2050 et valoriser les bonnes pratiques à généraliser.

Il en ressort un maître mot : collaboration. Collaboration d'une part avec les constructeurs sur le développement d'une offre adaptée aux besoins aéroportuaires ; collaboration d'autre part avec les aéroports sur l'adaptation des réseaux d'énergies nécessaires pour préparer l'arrivée de ces nouvelles technologies. Le tout avec le soutien des autorités de tutelle pour garantir la soutenabilité économique de cette transition, dans un secteur encore trop méconnu des régulateurs.

C'est ensemble que nous saurons transformer l'essai et contribuer à la réduction de l'empreinte environnementale du secteur aérien.

Bonne lecture



SOMMAIRE

RÉSUMÉ

- Les assistants en escale, acteurs-clés de la décarbonation des opérations au sol

1 – L'ÉTAT DES LIEUX

- Flottes d'engins de piste
- Consommation d'énergies
- Nouvelles énergies
- Modèles de partage des coûts par types d'énergies
- Les enjeux de la tarification électrique
- Benchmark des coûts de l'électricité en France et en Europe
- Équilibres énergétiques
- Nouvelles technologies (synthèse)

2 - LES OBJECTIFS

- Transition énergétique
- Réduction des émissions
- Conditions à l'atteinte de ces objectifs

3 - LES BONNES PRATIQUES

- Moyens de substitution à l'APU*
- Infrastructures de recharge électrique
- Éco-usage
- Re-motorisation des engins
- Régénération des batteries au plomb

4 - ANNEXES

- Détail des fonctions des engins de piste
- Nouvelles technologies d'engins de piste



RÉSUMÉ

LES ASSISTANTS EN ESCALE, ACTEURS-CLÉS DE LA DÉCARBONATION DES OPÉRATIONS AU SOL

Constats : **Une transition énergétique déjà engagée par les assistants en escale**



- Les assistants en escale de la CSAE opèrent plus de **3 500 véhicules et engins de pistes non immatriculés**, nécessaires au traitement des passagers et des avions au sol (soit environ 50% de la flotte totale aéroportuaire).
- Le verdissement des flottes s'est fait jusqu'à présent sur les véhicules et engins de **faible puissance** et au profit de solutions essentiellement électriques. **43% de la flotte exploitée aujourd'hui est propre** (électrique, hybride, gaz).
- Les objectifs sont de réduire de **20% les émissions directes de CO₂ en 2030** (référence 2019) et d'atteindre le **0 émissions nettes** (directes et indirectes) en **2050**.

Solutions : **Des maturités technologiques hétérogènes à renforcer**



- A court terme, faciliter l'utilisation des **technologies électriques et gaz déjà matures** par des **mécanismes d'aide à l'achats**, des programmes d'**investissement dans des infrastructures de fourniture d'énergie** significatifs et coordonnés, et des **coûts de l'énergie incitatifs**, comme c'est le cas ailleurs en Europe. Les solutions de transition par du HVO (huile végétale hydrotraitée), compatible avec les moteurs diesel, sont également à considérer.
- A moyen et long terme, développer la recherche sur les **solutions pour les engins à forte puissance** comme les tracteurs avions long courrier (notamment grâce à **l'hydrogène**), permettant de limiter de surcroît les émissions lors du roulage au sol des avions.

Challenge : **Comment accélérer cette transition dans un contexte multi-acteurs ?**



- Les assistants en escale doivent répondre aux **demandes des compagnies aériennes et des aéroports** en accélérant la décarbonation, notamment sur les **véhicules et engins à forte puissance**, via des nouvelles **solutions économiquement et environnementalement viables**, tout en **collaborant avec les aéroports sur le développement des infrastructures** de fourniture d'énergie les plus adaptées.

1-L'ÉTAT DES LIEUX

FLOTTE D'ENGINS DE PISTE

CONSOMMATION D'ÉNERGIES

NOUVELLES ÉNERGIES

MODÈLES DE PARTAGE DES COÛTS,

BENCHMARK DES COÛTS DE L'ÉLECTRICITÉ

ÉQUILIBRES ÉNERGÉTIQUES

NOUVELLES TECHNOLOGIES

FLOTTES D'ENGINS DE PISTE

Flotte d'engins de piste non routiers exploités en France en 2022 par 20 entreprises répondantes
(hors flotte Air France et Aéroport de Paris)

Engins	Nombre d'engins par énergies		Nombre d'engins total	Part d'engins électriques
	Électrique	Thermique		
TRACTEUR	1086	90	1176	92%
TAPIS	182	345	527	35%
CHARIOT ELEVATEUR	54	5	59	92%
TRACTEUR AVION	20	244	264	8%
ESCALIER PASSAGER	16	253	269	6%
PLATEFORME ELEVATRICE	4	209	213	2%
ACU	4	14	18	22%
CAMION EAU & VIDANGE	4	29	33	12%
GPU	2	252	254	1%
CAMION PMR	1	22	23	4%
OLÉOSERVEUR	1	32	33	3%
CAMION AVITAILLEUR	1	6	7	14%
DEGIVREUSE		30	30	0%
ASU		38	38	0%
CAMION CATERING		105	105	0%
TRANSPORTEUR		52	52	0%
BUS		53	53	0%
CAMION FRET		62	62	0%
TOTAL	1 375	1 841	3 220	43%

CONSOMMATION D'ÉNERGIES

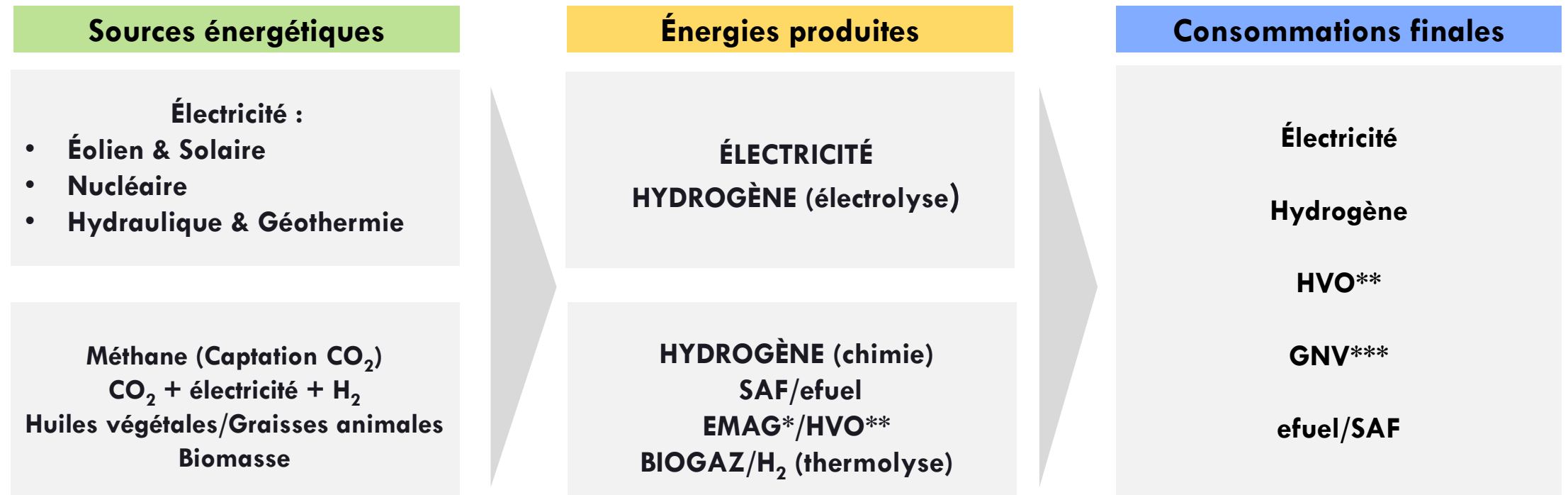
Consommation des engins de piste non routiers exploités en France en 2022 par 20 entreprises répondantes
(hors flotte Air France et Aéroport de Paris)

Engins	Consommation de carburant GNR (Litres)	Part des consommations de carburant	Consommation d'électricité (kWh)
BUS	1 259 830	16%	
GPU	1 199 888	15%	930
PUSH	1 133 295	15%	503 040
CAMION FRET	1 083 317	14%	
TAPIS	970 033	12%	581 341
CAMION CATERING	541 120	7%	
LOADER	424 442	5%	75 468
ESCALIER PASSAGER	307 621	4%	3 420
TRACTEUR	230 751	3%	5 089 342
OLÉOSERVEUR	165 830	2%	24
CAMION EAU & VIDANGE	149 895	2%	4 040
TRANSPORTEUR	94 527	1%	
CAMION PMR	56 179	1%	15
ASU	56 123	1%	
ACU	54 292	1%	
DEGIVREUSE	28 459	0,4%	
CAMION AVITAILLEUR	12 321	0,2%	
ELEVATEUR	1 711	0,02%	8 640
Total général	7 769 632 L		6 266 259 KWh

Il faudra **multiplier par 10 à minima les puissances disponibles pour les GSE**
dans les aéroports afin d'atteindre l'objectif de verdissement

NOUVELLES ÉNERGIES - SOURCES

Les flottes de véhicules et d'engins aéroportuaires (GSE) évolueront progressivement vers des énergies renouvelables



Esters méthyliques d'acides gras / ** Huile végétale hydrotraitée / * Gaz Naturel pour Véhicules*

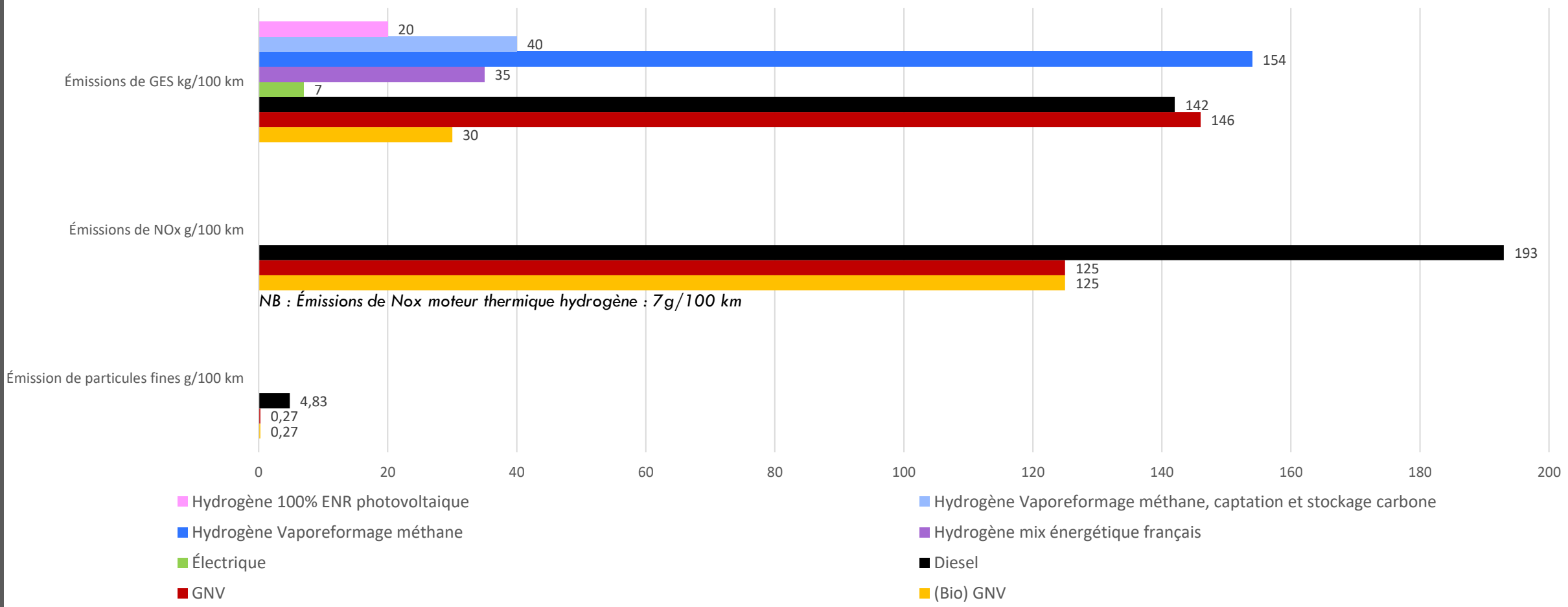
Les aéroports devront sécuriser les sources d'approvisionnement en énergies en fonction :

- Des sources et capacités de production locales d'énergies renouvelables
 - Des réseaux de distribution près ou sur les aéroports
 - Des prix des différentes énergies



NOUVELLES ÉNERGIES - ÉMISSIONS

Émissions par sources d'énergies





MODÈLES DE PARTAGE DES COÛTS PAR TYPE D'ÉNERGIES

		THERMIQUE	ÉLECTRIQUE		
		DIESEL/HVO/HYDROGÈNE	BATTERIES	HYDROGÈNE	
GSE	ENGINS	ASSISTANTS / LOUEURS	ASSISTANTS / LOUEURS	ASSISTANTS / LOUEURS	
	CHARGEURS				
	PARKING	ASSISTANTS €/an/m ²	ASSISTANTS €/an/m ²	ASSISTANTS €/an/m ²	
ÉNERGIES	INFRASTRUCTURES	STATIONS de DISTRIBUTION	RESEAUX	STATIONS DE CHARGES	STATIONS de DISTRIBUTION
	DISTRIBUTION	PRESTATAIRES / AEROPORTS	AEROPORTS	PRESTATAIRES	PRESTATAIRES / AEROPORTS
	CONSOMMATIONS	ASSISTANTS €/l & €/kg	ASSISTANTS €/kWh		ASSISTANTS €/kg



LES ENJEUX DE LA TARIFICATION ÉLECTRIQUE

L'électrification des engins de piste présente des surcoûts significatifs par rapport aux matériels thermiques actuels.

En France, **les assistants en escale ne peuvent supporter seuls la totalité des coûts liés à l'électrification des engins de piste**, à savoir :

- La **location ou l'achat des engins** (+30% en moyenne par rapport aux engins thermiques)
- L'**achat de l'électricité** (+45% en 2022 par rapport à 2020. Certains aéroports prévoient une tarification du kW à des tarifs supérieurs aux coûts du GNR)
- L'**achat et l'installation de l'infrastructure de distribution** (lignes de distribution finale, armoires électriques, point de charge, compteurs, etc.)
- La **location d'emplacements électrifiés** et de **zones de stationnement** (dont les tarifs augmentent de +50% à +85% sur certaines plateformes)



Ce système de tarification français est unique en Europe. La plupart des aéroports retarifent un **forfait de consommation d'énergie global** prenant en compte l'infrastructure, sur des niveaux de tarification proches du marché libre.



BENCHMARK DES COÛTS DE L'ÉLECTRICITÉ EN FRANCE ET EN EUROPE

FRANCE	CDG	TLS	LYS	NCE	MRS	NTE
Location emplacement GSE seul (€/m ² /an)	36.41€	6,92 €	1,29 €	18,20 €	10,45 €	43,41 €
Facturation électricité consommée (€/kWh/an)	Part variable de 0.207€ €/kWh/an + part fixe de 71.16€ /KVA/an					
		0,398 €	0,480 €	0,440 €	0,611 €	0,384 €
Mise à disposition de prise/an	N/A	N/A	N/A	734 €	N/A	777 €

EUROPE	Dublin	Heathrow	Luton	Aena	BRU
Location emplacement GSE seul (€/m ² /an)	46 €	0 €	0€	Tarification au kW consommé. Si pas de compteur individualisé, application d'un taux fixe au m ²	
Facturation électricité consommée (€/kWh/an)	0 €	0.446€*	0,484€		Part fixe entre 0,023 €/kWh et 0,048€/kWh

* Tarif incluant une part d'infrastructure



ÉQUILIBRES ÉNERGÉTIQUES

Toute tarification en coût complet global de l'électricité au-delà de 360€/MWh aboutira à freiner l'électrification des matériels de piste par rapport à un coût énergétique de 2€/l pour des carburants neutres type HVO

	GNR ICE ₁	DIESEL/HVO ICE ₁	ÉLECTRICITÉ BATTERIES	HYDROGÈNE ICE ₁	HYDROGÈNE FC
Quantité énergie / unité	11 kWh/l	11 kWh/l	1 kWh	33 kWh/kg	33 kWh/kg
Prix / unité	1,5 €/l	2 €/l	0,36 €/kWh	6€/kg	8,5€/kg
Rendement global	35% (ICE)	35% (ICE)	70% (Batteries)	35% (ICE)	50% (FC)
Ratio prix/kWh utile	0,39€/kWh	0,52€/kWh	0,51€/kWh	0,52€/kWh	0,51€/kWh
Facteur d'émission CO ₂	0,29 kg/kWh	0,29 kg/kWh 0,09 kg/kWh*	0,07 kg/kWh**	0,09 kg/kWh***	0,09 kg/kWh***
Taxation carbone 100€/T	0,03 €/kWh	0,03 €/kWh 0,01 €/kWh*			

¹ ICE : moteur à combustion interne
² Hydrogène FC : pile à combustible

* 70% de décarbonation pour le HVO
 ** 0,07 émission en France ; 0,28 aux UK ; 0,61 en Allemagne

*** Hydrogène bas carbone 3kg CO₂ / kg H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGIN DE PISTE PAR ÉNERGIE (SYNTHÈSE)

	Biodiesel			Électrique			Hydrogène			Recommandation
	TCO	BC	Maturité	TCO	BC	Maturité	TCO	BC	Maturité	
AIR COND. UNIT	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 400V / H2 ICE**
AIR START UNIT	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Hydrogène ICE**
BUS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
CAMION CATERING	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
CAMION EAU VIDANGE	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V
CAMION PL	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
CAMION PMR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
CHARIOT ELEVATEUR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80V
DEGIVREUSE	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
ESCALIER PASSAGERS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique /solaire
GPU	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 400V / H2 ICE** / Réseau 400V
LOADER	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80V & 400V
OLEOSERVEUR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 800V / H2 FC* ICE**
TAPIS BAGAGES	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80V
TRACTEUR AVION	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80 V& 400V / H2 ICE**
TRACTEUR BAGAGES	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80V
TRANSPORTEUR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Électrique 80V & 400V

- Bon / Faible
- Moyen / Modéré
- Mauvais / intensive

*Hydrogène FC : pile à combustible

** Hydrogène ICE : moteur à combustion interne

TCO : « Total Cost of Ownership » (coût global d'utilisation incluant l'achat de l'engin, le prix de l'énergie et les coûts de maintenance)

2-LES OBJECTIFS

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DES FLOTTES

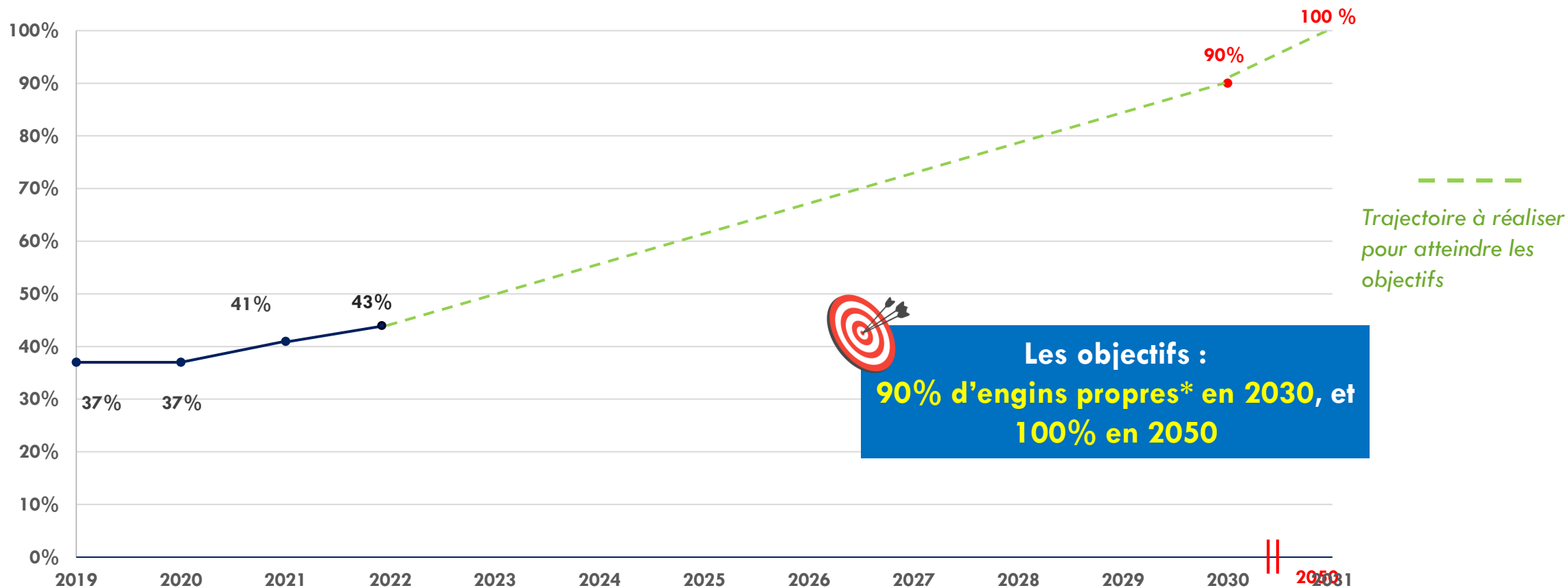
RÉDUCTION DES ÉMISSIONS

CONDITIONS À L'ATTEINTE DE CES OBJECTIFS



TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DES FLOTTES

Évolution de la part d'engins propres* depuis 2019 et objectifs 2030/2050

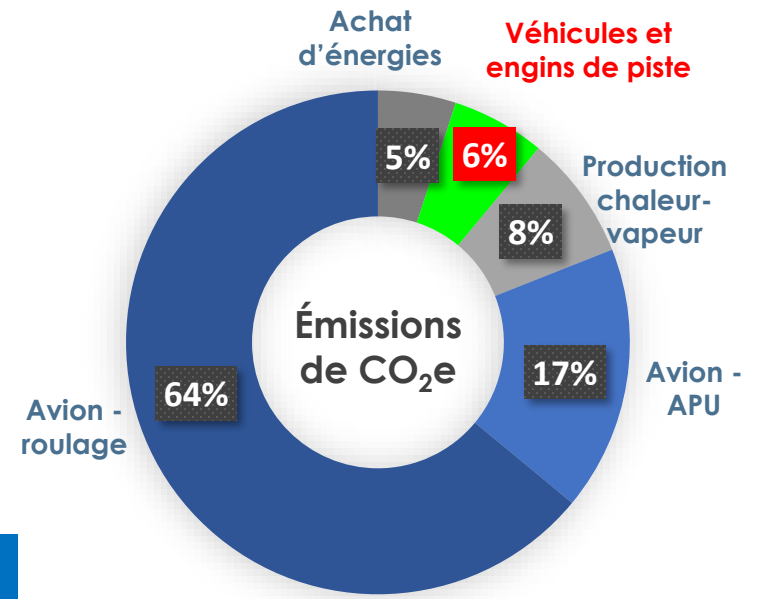




RÉDUCTION DES ÉMISSIONS

- Dans le bilan global des émissions d'une plateforme aéroportuaire, les véhicules et engins de piste représentaient en 2018 :
 - **Gaz à effet de serre : 6% des émissions de dioxyde de carbone (CO₂)** soit plus de 21 000 tonnes de CO₂ équivalent.
 - **Qualité de l'air : 5% des émissions d'oxydes d'azote (NO_x)**
- En **2022**, les émissions de gaz à effet de serre liées à la combustion du carburant des engins de piste était de **19 967 tonnes de CO₂ eq.**
- **L'électrification** en France avec un facteur d'émission de 0,07kg CO₂/kWh **permettrait d'économiser 75% du CO₂ émis**

Les émissions de CO₂eq. des véhicules et engins de piste représentent 6% des émissions aéroportuaires



Source : ADEME, 2018, Répartition des émissions de CO₂ équivalent par poste d'émission (11 aéroports)



Les objectifs :
Réduire de 20% les émissions directes de CO₂ en 2030 (référence 2019)
Atteindre le 0 émissions nettes (directes et indirectes) en 2050



CONDITIONS À L'ATTEINTE DE CES OBJECTIFS

1. **Soutien des capacités d'investissement** pour le **renouvellement des flottes** des assistants en escale pour l'**adaptation des infrastructures** des aéroports
2. **Visibilité sur le déploiement des infrastructures** de recharge électrique (avec les puissances et les surfaces associées), gaz ou hydrogène des aéroports
3. **Partage des coûts** de déploiements des infrastructures (chargeurs, réseaux de distribution) et de l'énergie avec **les aéroports et les compagnies aériennes**



3-LES BONNES PRATIQUES

MOYENS DE SUBSTITUTION À L'APU

INFRASTRUCTURES DE RECHARGE ÉLECTRIQUES

ÉCO-CONDUITE

RE-MOTORISATION DES ENGIN

RÉGÉNÉRATION DES BATTERIES AU PLOMB

MOYENS DE SUBSTITUTION À L'APU*

Description

- Rappel du rôle d'un APU : fournit l'électricité, le chauffage et la climatisation lorsque les réacteurs principaux de l'avion sont éteints (embarquement et débarquement des passagers, nettoyage, maintenance, préparation du vol, etc). Nécessaire également pour le démarrage des réacteurs principaux.
- Moyens de substitutions fixes à l'APU (à privilégier) : câble 400 Hz, PCA (Pre-Conditioned Air). Ces moyens sont mis à disposition par les aéroports.
- Moyens de substitution mobiles (en cas de non fonctionnement des installations fixes) : GPU (Ground Power Unit) thermique, GPU batterie, convertisseur, ACU (Air Conditioning Unit), ASU (Air Strat Unit). Ces moyens sont mis à disposition par les assistants en escale.

Bénéfices

- Réduction des consommations de carburant, engendrant une des émissions de gaz à effet de serre, de polluants locaux et des coûts pour les compagnies aériennes et les assistants.
- Réduction de l'encombrement du poste avion dans le cas de moyens de substitution fixes et du bruit.



Facteurs clés de succès

- Disponibilité des infrastructures fixes de substitution sur les poste avions au contact et au large (puissances, réseau de distribution)
- Capacité d'investissement des assistants et des aéroports

Partenaires concernés

- Aéroports, compagnies aériennes, assistants en escale

INFRASTRUCTURES DE RECHARGE ÉLECTRIQUE

Description

- **Solution A** : installation d'un faible nombre de chargeurs rapides haute densité (63A-125A) multi-tension multi-capacité : ce type de chargeur permet de charger sur une même journée différentes batteries et ajuste automatiquement son calibre à la batterie en fonction de son état de charge. La charge dure entre 30 min et 3h. Ces chargeurs sont particulièrement adaptés pour les engins nécessitant des grosses puissances comme les tracteurs avion, les loaders ou les GPU. Pour ce type de chargeurs, environ 1 chargeur pour 4 engins peut être installé. Cette solution nécessite comme prérequis d'avoir les puissances importantes disponibles sur l'aéroport, ainsi qu'un même standard de connexion des prises (norme euro CCS2).
- **Solution B** : installation d'un grand nombre de chargeurs faible intensité à charge lente (16A-32A) dédiés à la charge d'un seul type de batterie : ce type de chargeur est moins gourmand en puissance mais nécessite plus d'espace pour installer les chargeurs. Il laisse la possibilité de laisser les engins en charge pendant toute la période d'inactivité (la nuit par exemple) pour une charge complète entre 8 et 15h. Ce type de chargeur est adapté pour les engins à faible puissance, comme les tracteurs bagages ou les tapis. Pour ce type de chargeurs, environ 1 chargeur pour 2 engins peut être installé. Cette solution est actuellement la plus simple à mettre en place et la plus généralisée sur les aéroports, mais présentera des limites pour l'électrification des véhicules engins de piste les plus puissants (bus, tracteur avions, etc.).
- **Solution C** : installation de chargeurs embarqués directement sur les engins électriques, qui permettent le branchement des engins sur un réseau irrégulier (variation de tension ou de puissance). Un même engin peut donc être branché sur différents types de prises, en fonction de celui disponible à proximité lorsque sa batterie est faible par exemple. Cette solution présente un surcoût pour ajouter le chargeur au prix de l'engin.

Un panachage de ces solutions, en concertation avec les aéroports, est à envisager pour trouver la meilleure adéquation entre le plan d'investissement des assistants et les capacités électriques que peut proposer l'aéroport.



Bénéfices

Réduction des consommations de carburant, des émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux pour les assistants

Facteurs clés de succès

- Disponibilité des surfaces et de la capacité électrique, à un coût de l'énergie compétitif
- Normalisation des standards de connexion (norme OCPP2.0)

Partenaires concernés

Aéroports, assistants en escale, fournisseurs d'électricité

Description

- Module d'éco-conduite intégré à la formation des agents de piste, en même temps que les formations sur la conduite des engins.
- Contenu de la formation : modulation de la vitesse et anticipation des obstacles, conduite sans à-coups, incitation à couper le contact lorsque le conducteur est en attente à l'arrêt.

Bénéfices

- Réduction des consommations de carburant, des émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux pour les assistants.
- Amélioration de la sécurité en piste sur les aires de trafic.
- Diminution de l'usure des véhicules et des engins.



Facteurs clés de succès

- Implication et sensibilisation fréquentes des agents
- Monitoring des consommations et de l'utilisation des engins et véhicules
- Communication des économies réalisées

Partenaires concernés

- Organismes de formation, assistants en escale, aéroports



RE-MOTORISATION DES ENGINS

Description

- La re-motorisation des engins (ou retrofit) consiste à remplacer le moteur thermique par un moteur électrique ou hydrogène, en conservant le reste de l'infrastructure de l'engin.

Bénéfices

- Réduction des coûts par rapport à un engin électrique ou hydrogène neuf : seule la partie du moteur est à changer, pas l'ensemble de l'engin.
- Réductions des émissions de gaz à effet de serre, liées à l'électrification ou à la conversion en hydrogène de la motorisation, et à l'évitement d'émission lors de la production d'un nouvel engin complet.
- Réduction des déchets : prolongation de la durée de vie d'un ancien engin thermique qui va être réutilisé plutôt que d'être mis au rebut ou au démantèlement.



Facteurs clé de succès

- Faisabilité technique du retrofit
- Coût du retrofit (transformation + nouveau moteur), qui ne doit pas être supérieur à une solution neuve

Partenaires concernés

- Constructeurs d'engins de piste, fournisseur de batteries et de pile à combustible, ateliers de maintenance

REGÉNÉRATION DES BATTERIES AU PLOMB

Description

- Avec le temps et l'enchaînement des cycles de recharge, le sulfate de plomb des batteries peut se cristalliser et ses plaques peuvent s'oxyder.
- Le principe de la régénération des batteries consiste à envoyer des impulsions électriques contrôlées de forte puissance, qui vont petit à petit briser le réseau cristallin de sulfate de plomb et permettre d'augmenter la durée de vie de ces dernières de 100% à 250 %.

Bénéfices

- Doubler la durée de vie des batteries
- Retrouver la capacité d'origine
- Diminuer la consommation électrique
- Réduire les pannes
- Diminuer les coûts d'exploitation
- Réduire les déchets liés au recyclage des batteries au plomb



Facteurs clé de succès

- Fiabilité du process
- Rapidité de traitement

Partenaires concernés

Assistance en escale, fournisseurs de batteries, ateliers de maintenance

4-ANNEXES

DÉTAIL DES FONCTIONS DES ENGINES DE PISTE

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINES DE PISTE

DÉTAIL DES FONCTIONS DES ENGIN DE PISTE NON-IMMATRICULÉS



Groupe auxiliaire de puissance (GPU)

- Produit l'électricité pour l'avion en remplacement du moteur auxiliaire de puissance (APU)



Tracteur bagages

- Transporte les bagages du terminal jusqu'à l'avion sur un ou plusieurs chariots



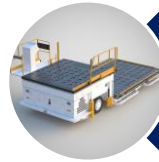
Bus équipage/passager

- Permet de faire la navette entre l'avion et le terminal pour les passagers et les équipages



Unité de démarrage à air (ASU)

- Produit un flux d'air haute pression pour aider au démarrage des moteurs en remplacement du moteur auxiliaire de puissance (APU)



Plateforme élévatrice (loader)

- Soulève les cargaisons et les conteneurs pour les charger dans la soute des avions



Camion poids lourds de fret

- Transportent une remorque avec plusieurs conteneurs de la zone de fret jusqu'à l'avion



Unité de climatisation (ACU)

- Produit de l'air climatisé ou chauffé pour alimenter l'avion en remplacement du moteur auxiliaire de puissance (APU)



Dégivreuse

- Permet d'appliquer du glycol sur les ailes afin de dégivrer les avions avant le décollage l'hiver



Camion eau et vidange

- Vide les réserves d'eaux usées de l'avions ou remplit les réserves d'eau potable de l'avion



Tracteur avion (pushback)

- Repousse l'avion pour sortir du parking ou remorque l'avion (qui a ses moteurs éteints) sur les pistes entre deux points de parking



Chariot élévateur

- Permet le transport et l'élévation de petits conteneurs ou palettes



Camion pour les Personnes à Mobilité Réduite (PMR)

- Permet l'accès aux personnes à mobilité réduite depuis le tarmac jusqu'à la porte de l'avion



Escaliers Passager

- Permet la descente ou la montée des passagers et équipages dans l'avion en cas d'absence de passerelles



Camion de restauration (catering)

- Charge et décharge les trolleys liés à la restauration pendant le vol (plateaux repas)



Oléoserveur

- Camion distribuant le carburant aux avions en les connectant au réseau enterré de distribution de carburant de l'aéroport (hydrants)



Tapis bagage

- Charge les bagages directement en soutes depuis les chariots des tracteurs bagages.



Transporteur

- Tracte un ou plusieurs conteneurs sur des chariots du terminal jusqu'à l'avion



Citerne

- Camion distribuant le carburant aux avions directement depuis une citerne embarquée



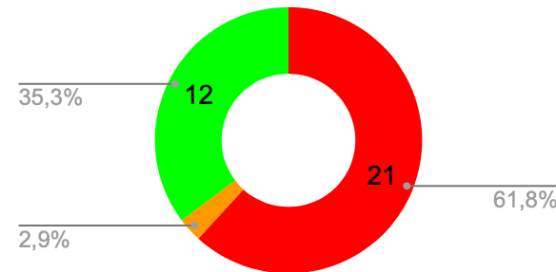
NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (1)

Les chiffres cités sont issus d'une étude menée en 2022 par 4 étudiants IENAC de l'ENAC dans le cadre d'une projet proposé par la CSAE.

Pour chaque famille il ont étudié l'offre issues de 16 constructeurs internationaux et regardé les modes de propulsion.

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

GPU (Ground Power Unit): 90KVA, 140KVA et 180KVA



34 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 61,8 % (21 modèles) de thermiques
- 12 % (12 modèles) d'électriques (convertisseurs 400V 50Hz -> 110V 400Hz ou GPU à batterie Lithium de 90kWh à 180kWh)
- 2,9 % (1 modèle) d'hybride
- Aucun à l'hydrogène ou à l'énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an
125A -> 75kW	Utilisations longues et régulières
250A -> 150kW	plusieurs fois par jour

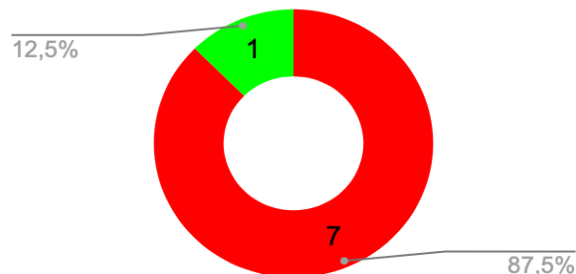
Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Électrique secteur
- Électrique batterie
- Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (2)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

ASU (Air Start Unit): 180ppm, 250ppm, 400ppm



8 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 87,5 % (7 modèles) de thermiques
- 12,5 % (1 modèle) d'électriques (système à air comprimé et compresseur électrique)
- Aucun hybride, à l'hydrogène (pile à combustible) ou électrique sur batterie
- Evolution future: Moteur thermique H₂ et Réservoir H₂ Gaz

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale > 300kW
Pas de modèle électrique

50h/an
Utilisations courtes et non régulières

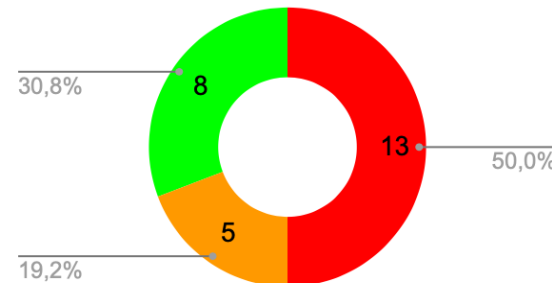
Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGIN DE PISTE (3)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

ACU (Air Conditionning Unit): 1,5kg/s, 3kg/s, 5kg/s



26 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 50 % (13 modèles) de thermiques
- 30,8 % (8 modèles) d'électriques (Prises secteur 125A et 250A)
- 19,2 % (5 modèles) d'hybrides (Moteur thermique avec génératrice pour alimenter un climatiseur électrique disposant d'une alimentation sur secteur)
- Aucun hydrogène ou électrique sur batterie

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an Utilisations longues et régulières
75 à 150kW	

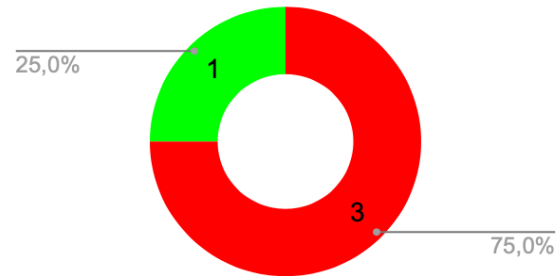
Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique secteur
 - 125A -> 75kW
 - 250A -> 150kW

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (4)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tracteurs Cargo 20t et 30t



4 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 75 % (3 modèles) de thermiques
- 25 % (1 modèle) d'électriques batterie
- Aucun hybride
- hydrogène (essai pile à combustible réalisé)

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1500h/an
10 à 20kW	Utilisations longues et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future:

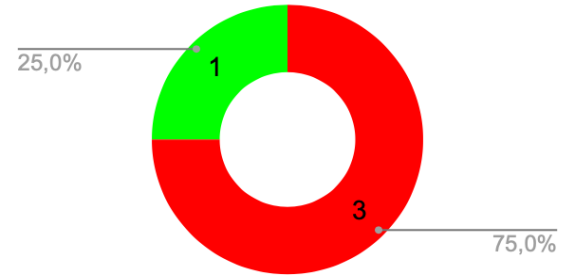
- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie
- Electrique Pile à combustible



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (5)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tracteurs de piste 20t



4 modèles différents proposés sur le marché dont :

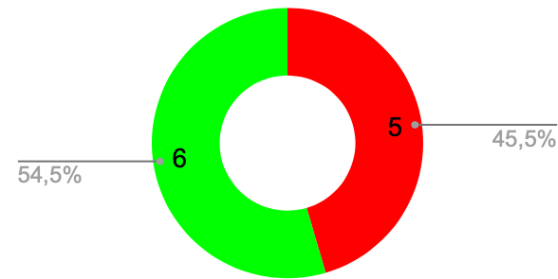
- 75 % (3 modèles) de thermiques
- 25 % (1 modèle) d'électriques
- Aucun hybride, hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation	
Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an
10 kW	Utilisations longues et régulières plusieurs fois par jour
Evolution future:	
<ul style="list-style-type: none"> • Thermique HVO (transition) • Electrique batterie lithium 	

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (6)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tracteurs de bagages 20t



11 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 54,5 % (6 modèles) d'électriques (Batteries plomb ou lithium)
- 45,5 % (5 modèles) de thermiques
- Aucun hybride, hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	800h/an
10 kW	Utilisations longues et régulières plusieurs fois par jour

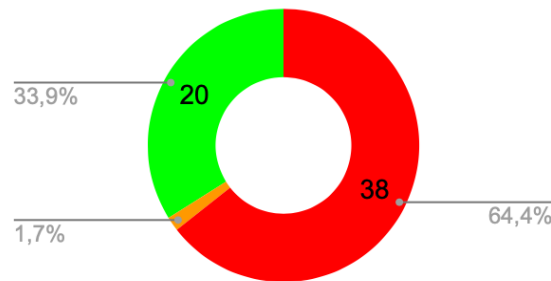
Evolution future:

- Electrique batterie
- Plomb ou lithium

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (7)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tracteurs avion avec barre: petit, moyen et gros porteur



59 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 64,4 % (38 modèles) de thermiques
- 33,9 % (20 modèles) d'électriques
- 1,7 % (1 modèle) d'hybrides (électrique batterie avec moteur thermique et génératrice électrique)
- Aucun hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	800h/an à 1200h/an
75 à 150 kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

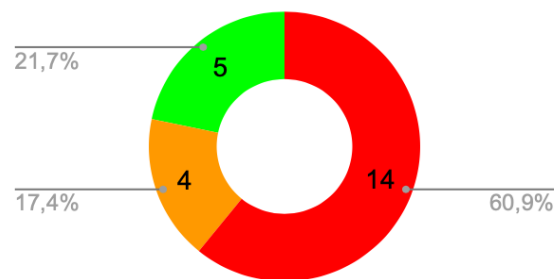
Evolution future:

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie lithium petits push
- Thermique H₂ gros push

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (8)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tracteurs avion sans barre



23 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 60,9 % (14 modèles) de thermiques
- 21,7 % (5 modèles) d'électriques
- 17,4 % (4 modèle) d'hybrides (électrique batterie avec moteur thermique et génératrice électrique)
- Aucun hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	800h/an à 1200h/an
75 à 150 kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future:

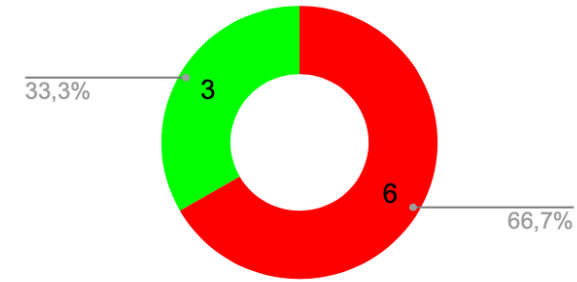
- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie lithium petit push
- Thermique H₂ gros push



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (9)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Tapis bagages



9 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 66,7 % (6 modèles) de thermiques
- 33,3 % (3 modèles) d'électriques
- Aucun hybride, hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	800h/an à 1200h/an
35 kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

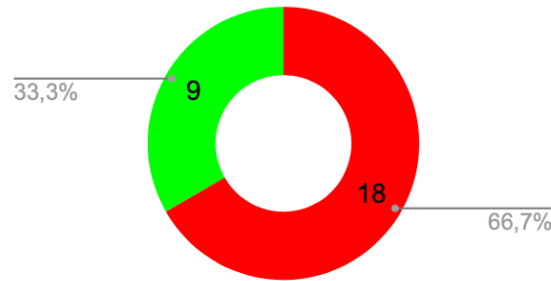
Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (10)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Loaders: 3,5T, 7T, 14T, 35T



27 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 66,7 % (18 modèles) de thermiques
- 33,3 % (9 modèles) d'électriques
- Aucun hybride, hydrogène ou énergie solaire

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	800h/an à 1200h/an
50 kW à 150kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future

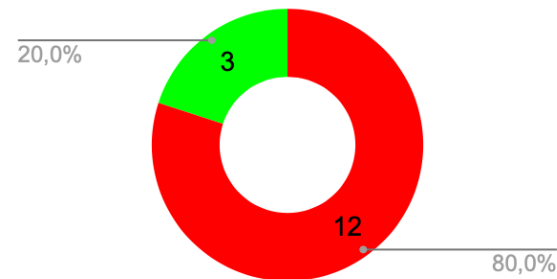
- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie (3,5T, 7T)
- Thermique H₂ (14T, 35T)



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (11)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Transporteurs de fret



15 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 80 % (12 modèles) de thermiques
- 20 % (3 modèles) d'électriques

Puissance/Utilisation

Fonctionnement
au ralenti et à
puissance
nominale

50 kW à 100kW

800h/an à
1200h/an

Utilisations
courtes et
régulières
plusieurs fois par
jour

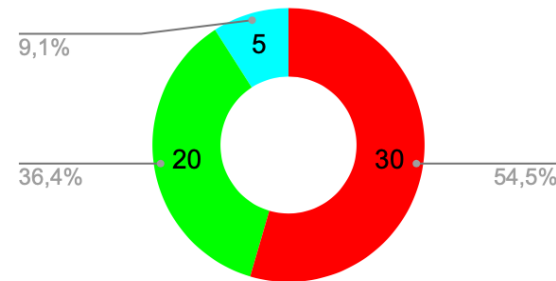
Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie lithium
- Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (12)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Escaliers passagers



55 modèles différents proposés sur le marché dont :

- 54,5 % (30 modèles) de thermiques
- 36,4 % (20 modèles) d'électriques à batterie
- 9,1 % (5 modèles) de solaire
- Aucun hybride ou hydrogène

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale

20 kW à 35kW

200h/an à 600h/an

Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie pour escaliers automoteurs
- Electrique avec batterie et panneaux solaires pour escaliers tractables



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (13)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Dégivreuses



- Différents modèles sont proposés sur le marché dont :
- Thermiques: Châssis industriels et commerciaux
 - Hybrides : Châssis thermiques et fonctionnalités sur batteries électriques
 - Electriques batteries

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	100h/an à 300h/an
75 kW à 150kW	Utilisations courtes et non régulières plusieurs fois par jour 6 mois/an

Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie
- Thermique H₂



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (14)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Camions de transport de personnes à mobilité réduite (PMR)



Différents modèles sont proposés sur le marché dont :

- Thermiques (châssis industriels et commerciaux)
- Electriques sur batteries (châssis industriels)

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an à 1500h/an
50 kW à 100kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

- Evolution future
- Thermique HVO (transition)
 - Electrique batterie (châssis industriels)
 - Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (15)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Camions de catering et d'armement cabine



Différents modèles sont proposés sur le marché dont :

- Thermiques (châssis commerciaux)
- Etudes en cours sur châssis commerciaux électriques

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an à 1500h/an
100 kW à 150kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batterie
- Thermique H₂



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (16)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Camions de transport de palettes de fret



Solution alternative:
Tracteur cargo avec portes palettes
CF fiche tracteurs cargo

- Différents modèles sont proposés sur le marché dont :
- Thermiques (châssis commerciaux), tri-palettes électriques
 - Etudes en cours sur châssis commerciaux électriques

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an à 1500h/an
100 kW à 150kW	Utilisations courtes et régulières plusieurs fois par jour

- ### Evolution future
- Thermique HVO (transition)
 - Electrique batterie
 - Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (17)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Camions de servitude avion (Eau Potable et Vide Toilettes)



Différents modèles sont proposés sur le marché dont :

- Thermiques (châssis commerciaux et industriels)
- Electriques (châssis commerciaux et industriels)

Puissance/Utilisation

Fonctionnement
au ralenti et à
puissance
nominale

50 kW à 100kW

1000h/an à
1500h/an

Utilisations
courtes et
régulières
plusieurs fois par
jour

Evolution future

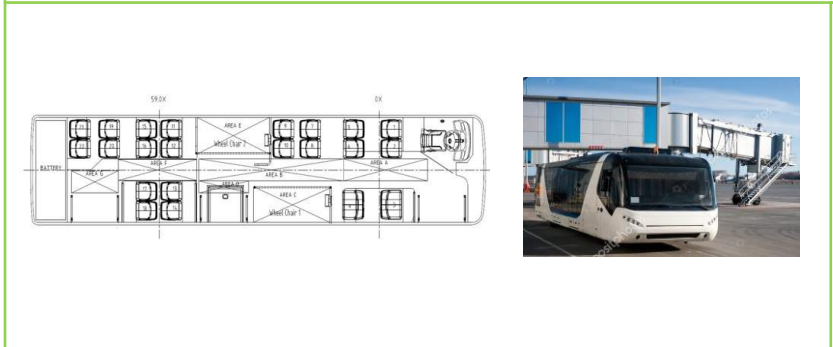
- Thermique HVO (transition)
- Electrique batteries
- Thermique H₂



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (18)

Code couleur : **ROUGE** thermique, **VERT** électrique, **ORANGE** hybride, **BLEU** solaire

Bus de transport de passagers



Différents modèles sont proposés sur le marché dont :

- Thermiques (châssis commerciaux et industriels)
- Electriques (châssis commerciaux et industriels) (batteries lithium de 120kWh à 400kWh)

Puissance/Utilisation

Fonctionnement au ralenti et à puissance nominale	1000h/an à 1500h/an
50 kW à 100kW	Utilisations longues et régulières plusieurs fois par jour

Evolution future

- Thermique HVO (transition)
- Electrique batteries
- Electriques H₂
- Thermique H₂

NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (16)

Au-delà des appareils décrits ci-dessus, d'autres non inclus dans l'étude méritent attention :

- **Dégivreuses** : les premières versions électriques arrivent sur le marché et une 1^{ère} mondiale a été mise en opération sur l'Aéroport de Clermont Ferrand
- **Camion pour transport des personnes à mobilité réduite** : de la même façon des helps sont aujourd'hui disponibles en version électrique. Des exemplaires sont en service sur l'aéroport CDG.
- **Camion de mise à bord du Catering** : A ce jour il n'existe pas de camion autre que les classiques camions diesel



NOUVELLES TECHNOLOGIES D'ENGINS DE PISTE (17)

- **Camion de transport de fret (spécifique à l'aéroport de Paris-CDG)** : ces camions sont utilisés en France uniquement sur l'Aéroport Roissy CDG et des recherches faites à l'étranger montrent qu'il n'y a rien d'analogue ailleurs. Ce marché de niche nécessiterait un développement d'un camion électrique spécifique, dont les coûts de développement aujourd'hui en électrique ne sont pas compétitifs avec une solution thermique diesel.
- **Autobus de piste** : des autobus électriques existent déjà. Des versions hydrogènes aussi mais leur coût est aujourd'hui trop élevé
- **Camions et serveurs de mise à bord du carburant avion** : les premiers véhicules électriques ont été mis en service





Version	Date	Nature de la révision
1.0	23/03/2023	Création
1.1	22/12/2023	Mise à jour de la flotte et des consommations d'énergie
1.2	26/01/2024	Ajout des parties « Les enjeux de la tarification électrique », « Modèles de partage des coûts par type d'énergies », « Benchmark des coûts de l'électricité en France et en Europe », « Equilibres énergétiques »

