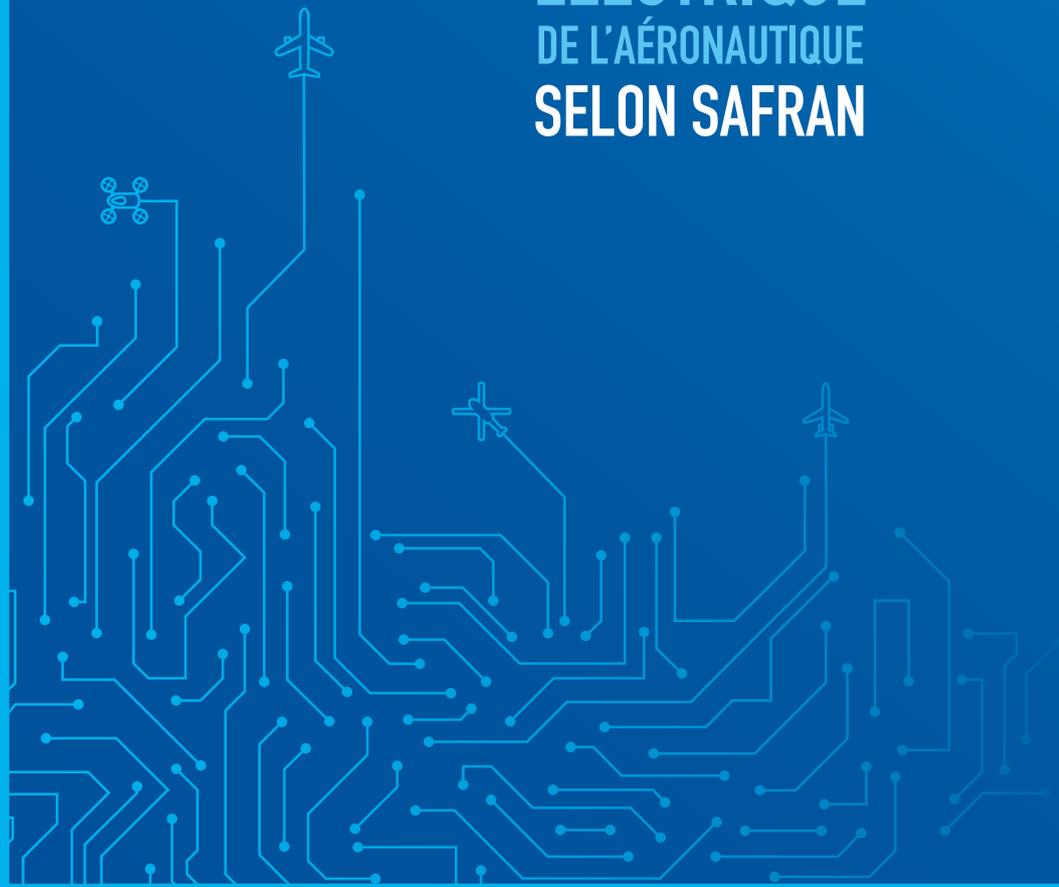


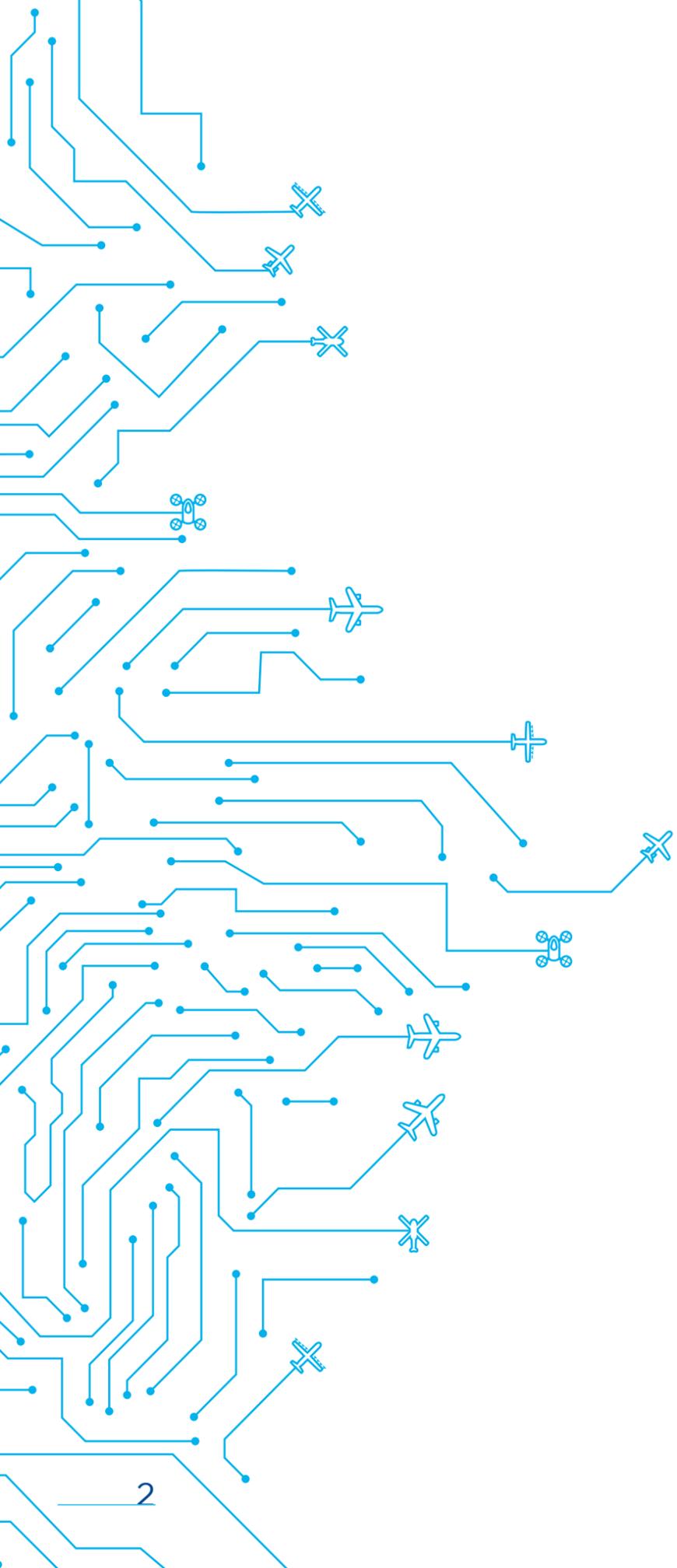
DOSSIER DE PRESSE
LE BOURGET 2019

L'AVENIR
ÉLECTRIQUE
DE L'AÉRONAUTIQUE
SELON SAFRAN



ePower

 **SAFRAN**



SOMMAIRE



AVANT-PROPOS

04 Électricité : le sens de l'histoire aéronautique ?

DES EXPERTISES ET UNE STRATÉGIE CENTRÉES SUR L'INNOVATION

08 Safran maîtrise la chaîne de l'électricité à bord

10 Safran optimise chaque maillon de la chaîne énergétique

12 Une transformation de la relation avec les clients et partenaires

14 Mobiliser la chaîne de l'innovation Safran

ÉLECTRIFIER LA PROPULSION DES AÉRONEFS

18 Safran au cœur du prochain chapitre de l'histoire aéronautique

20 Quelles architectures et applications pour la propulsion électrique ?

UN LONG CHEMIN VERS L'AVION 100 % ÉLECTRIQUE

26 Quel horizon pour les architectures « plus et tout électriques » ?

28 Certaines applications déjà à portée de main

30 De multiples verrous encore à lever pour l'aviation commerciale

ÉLECTRICITÉ LE SENS DE L'HISTOIRE AÉRONAUTIQUE ?

Nul doute que le développement de l'industrie aéronautique au 21^e siècle sera très différent de ce que le 20^e siècle a connu.

La croissance sera certes au rendez-vous : les besoins de mobilité continueront d'augmenter et, avec eux, la demande de transport aérien - notamment dans les économies émergentes d'Asie, d'Amérique latine et d'Afrique.

Mais les leviers de cette croissance sont appelés à évoluer.

D'une part, pour prendre en compte les enjeux de durabilité et rendre l'essor du trafic aérien socialement acceptable grâce à des impacts environnementaux

maîtrisés. D'autre part, pour intégrer les profondes mutations technologiques en cours. Celles-ci ouvrent la voie à de nouvelles architectures d'aéronefs et à des modèles économiques inédits, susceptibles d'apporter des solutions innovantes aux attentes de mobilité comme aux problèmes de congestion des grands centres urbains, ou d'offrir des alternatives aux besoins de connectivité des régions sous-équipées en infrastructures routières et ferroviaires.

Ces deux tendances de long terme plaident pour une électrification croissante des futures générations d'aéronefs. Au niveau des fonctions

Une ambition européenne

Lancé en 2008 et renforcé en 2014, le programme de coopération entre les secteurs public et privé **Clean Sky**, auquel participe Safran, constitue l'un des principaux leviers de la vision Flightpath 2050 portée par la Commission européenne. Son ambition est de faire émerger des technologies propres, innovantes et concurrentielles, réduisant fortement les impacts environnementaux du système aérien.

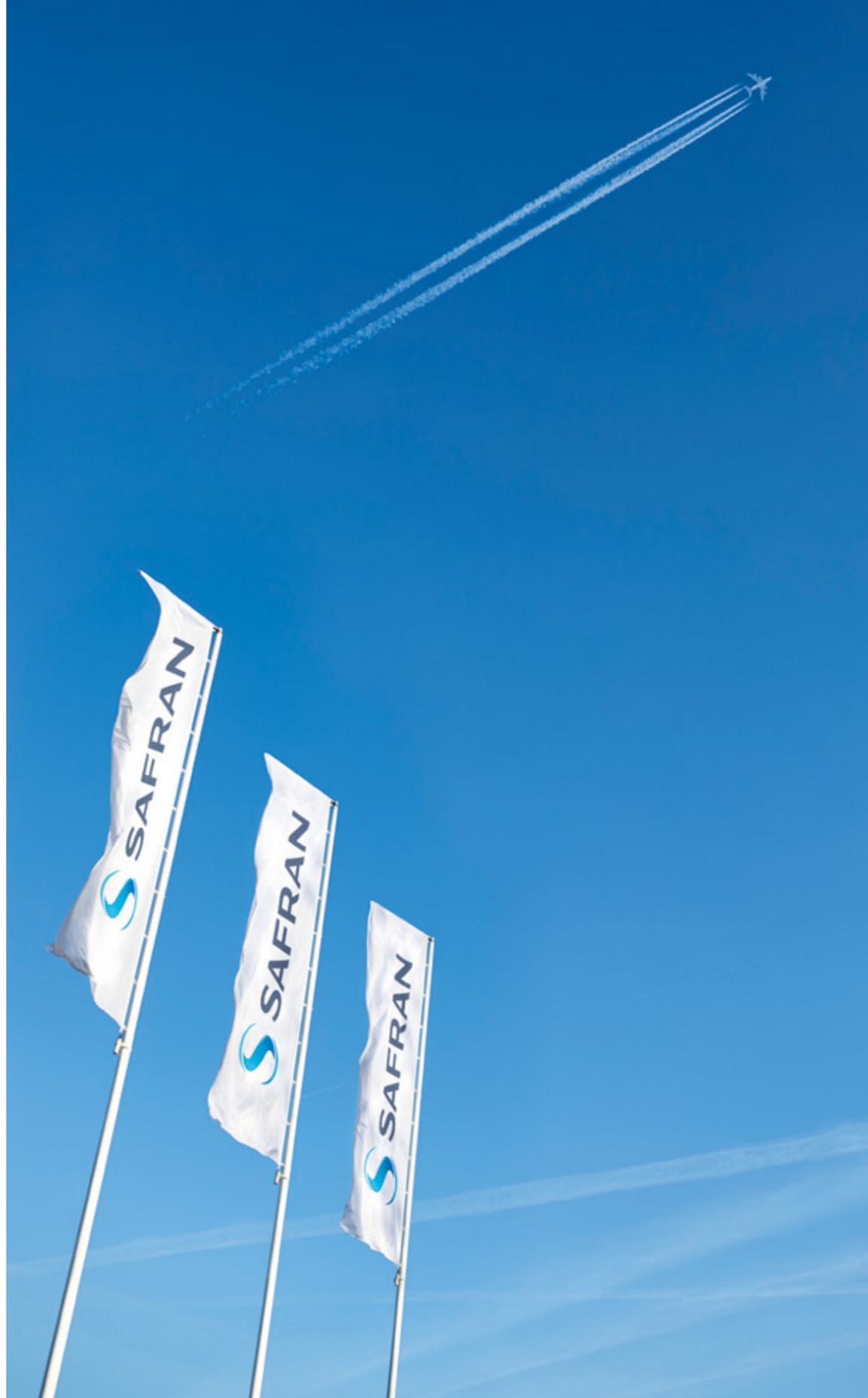
OBJECTIFS EN 2050

(comparés aux performances des aéronefs en l'an 2000) :

-75 %
d'émissions de CO₂

-90 %
d'émissions de NO_x

-65 %
de bruit pour
les aéronefs en vol



non-propulsives, c'est le prolongement des efforts des dernières décennies visant à substituer aux systèmes hydrauliques et pneumatiques des systèmes électriques plus compacts, plus fiables, plus flexibles. En ce qui concerne l'électrification de la propulsion, il faut se projeter plusieurs décennies en avant pour envisager les ruptures technologiques majeures nécessaires à un potentiel avion commercial de grande taille 100 % électrique. Mais un marché et des technologies à notre portée sont déjà en train d'émerger autour des systèmes de propulsion électrique et hybride et d'une nouvelle classe de véhicules légers destinés au transport aérien urbain, péri-urbain, voire régional.

Par ses métiers et expertises, son engagement constant et ses investissements croissants dans la recherche et l'innovation, Safran est plus que jamais un acteur-clé au cœur de ces questions.

**DES EXPERTISES
ET UNE STRATÉGIE
CENTRÉES SUR
L'INNOVATION**



S AFRAN MAÎTRISE LA CHAÎNE DE L'ÉNERGIE À BORD

L'électrification tend à estomper les frontières dans la classification traditionnelle des systèmes aéronautiques. Une évolution qui rend d'autant plus critique la maîtrise globale de la chaîne énergétique embarquée dans les avions, qu'aujourd'hui seul Safran possède de manière aussi complète.

Groupe international leader dans les domaines de la propulsion et des équipements aéronautiques, Safran occupe une position privilégiée pour aborder les enjeux de l'électrification des avions. Au travers des expertises complémentaires de ses sociétés, le Groupe est présent sur l'ensemble de la chaîne énergétique embarquée, depuis la génération d'énergie primaire au niveau des moteurs et des groupes auxiliaires de puissance, jusqu'aux multiples

équipements « consommateurs » (avionique, freins, IFE¹...), avec un leadership affirmé en matière de systèmes électriques : boîtier de distribution, management de puissance, générateurs, actionneurs, câblages... Grâce à l'étendue de ses savoir-faire, Safran maîtrise non seulement les enjeux énergétiques propres à chaque équipement, mais aussi ceux de leur intégration d'ensemble au sein des avions dans toutes les phases du vol, et pour tout type d'applications : civiles, militaires ou spatiales.

Aujourd'hui, Safran capitalise sur cette vision globale unique pour préparer le futur de la chaîne énergétique embarquée. Le Groupe identifie, développe et teste les meilleures technologies, tout en étant force de proposition sur l'intégration des systèmes dont il pourra fournir tout ou partie, afin de rendre les futurs appareils plus fiables, plus performants, et plus efficaces sur le plan énergétique.

Une idée plus que centenaire...

L'électrification des avions remonte... au 19^e siècle ! Dès 1883, les frères Tissandier volent à bord du premier ballon dirigé par un moteur électrique, mais incapable de remonter au vent par manque de puissance. En 1916, des ingénieurs hongrois vont plus loin avec le PKZ-1 : un hélicoptère à moteur électrique délivrant 140W à 6 000 tours/minute. Principal défaut ? Il est alimenté par un générateur au sol relié par un câble... Il faut attendre 1973 pour qu'un monoplan soit transformé en avion électrique emportant sa propre source d'énergie.

¹ In Flight Entertainment : Divertissement à bord.



La bonne énergie au bon endroit, au bon moment

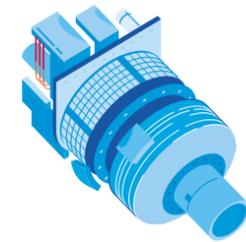
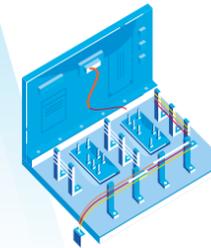
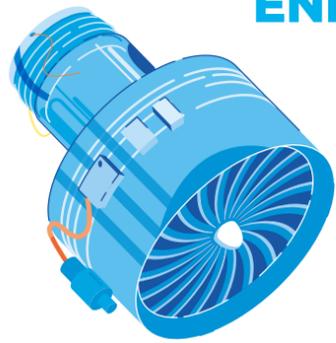
Pour Safran, l'électrification des avions n'est pas une fin en soi. Comme toutes les technologies, les systèmes électriques possèdent leurs avantages et leurs inconvénients. Ce que l'on gagne en flexibilité ou en fiabilité peut être rapidement perdu en poids et dans l'aéronautique, le bilan environnemental de l'électrification n'est pas automatiquement plus avantageux. Pour cela, chaque substitution d'un équipement hydraulique ou pneumatique par un système électrique doit être étudiée en fonction de son impact sur la performance et l'économie globale de l'appareil tout au long de son cycle de vie.

C'est pourquoi la stratégie de Safran n'est pas de chercher à électrifier chaque fonction de l'avion à tout prix mais plutôt de répondre à des problématiques très concrètes : combien d'énergie faut-il pour chaque système à chaque instant ? Et sous quelle forme est-il le plus pertinent de produire et fournir cette énergie ? Avec une conviction forte : **c'est au niveau de l'optimisation du management de l'énergie - domaine de compétence majeur de Safran - que se jouera une part essentielle des gains en efficacité énergétique des prochaines générations d'avions.** Il s'agira en particulier d'optimiser le rapport entre énergie propulsive et énergie non-propulsive.

Actuellement, la seconde est pour l'essentiel prélevée sur la première au niveau des moteurs principaux des avions. Demain, grâce à une électrification intelligente des systèmes et, par exemple, au développement d'architectures hybrides électriques, il sera possible de rendre les ensembles propulsifs plus performants sur leur mission première tout en produisant directement assez d'électricité (au moyen de batteries, turbogénérateurs, piles à combustible...) pour répondre aux besoins croissants en énergie non-propulsive, nécessaire à la sécurité et au confort des passagers.

S

AFRAN OPTIMISE CHAQUE MAILLON DE LA CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE



TURBORÉACTEUR OU TURBINE À GAZ

Aujourd'hui

C'est la principale source d'énergie à bord des avions, destinée à la fois à leur propulsion et à l'alimentation de leurs systèmes hydrauliques, pneumatiques et électriques. Safran est l'un des leaders mondiaux de moteurs d'avions commerciaux, et le n°1 mondial des moteurs d'hélicoptères.

Enjeux innovation

Alors que les moteurs de dernière génération tels que le LEAP conçu par CFM International¹ ont pris leur envol sur le marché, le Groupe travaille déjà sur les concepts et technologies susceptibles d'apporter aux futurs programmes d'avions de nouveaux gains significatifs en performance, à l'image de l'Open Rotor, de l'Ultra High Bypass Ratio (UHBR), ou bien encore de la propulsion hybride distribuée pour certaines applications.

TRANSMISSION DE PUISSANCE

Aujourd'hui

Les systèmes de transmission de puissance récupèrent l'énergie mécanique du moteur pour entraîner ses accessoires (pompes à carburant, lubrification, démarreur...) ainsi que les générateurs. Dans ce domaine, Safran est leader mondial sur le marché des avions commerciaux de plus de 100 places, et équipe toutes les catégories d'avions.

Enjeux innovation

Matériaux, procédés, architectures... Safran fait évoluer en permanence ses systèmes de transmission de puissance pour optimiser leur intégration dans les moteurs.

GÉNÉRATEUR ÉLECTRIQUE

Aujourd'hui

Dans ce domaine qui consiste à fournir une alimentation électrique à l'ensemble des systèmes de l'avion en convertissant en courant une fraction d'énergie mécanique prélevée sur le moteur principal ou l'APU, Safran propose des générateurs pour tout type d'avions commerciaux, régionaux, d'affaires et d'hélicoptères, civils comme militaires.

Enjeux innovation

Afin de répondre aux besoins des avions « plus et tout électriques », Safran développe une gamme de générateurs intelligents, la plus complète et la plus avancée du marché qui intègre l'électronique active directement dans la machine.

MOTEUR ÉLECTRIQUE

Aujourd'hui

À bord des avions, certaines fonctions mécaniques sont assurées à l'aide des moteurs électriques qui, dans certains programmes, peuvent se substituer totalement ou en partie à des commandes hydrauliques ou pneumatiques : actionnement des commandes de vol, des freins, des inverseurs de poussée...

Enjeux innovation

Safran conçoit différentes gammes de moteurs électriques compacts et puissants qui intègrent leur électronique de puissance directement dans l'équipement, et s'adaptent à différentes applications comme l'actionnement du train d'atterrissage, voire l'entraînement d'une hélice (pour les avions à propulsion électrique ou hybride).

MANAGEMENT DE LA PUISSANCE

Aujourd'hui

Ces dispositifs pilotent les équipements électriques de l'avion, des générateurs aux systèmes consommateurs (moteurs et autres équipements électriques).

Enjeux innovation

Avec l'électrification d'un nombre croissant de fonctions, le management de la puissance sera de plus en plus sollicité pour distribuer l'énergie, assurer la protection des systèmes électriques et en contrôler la stabilité.

CÂBLAGE

Aujourd'hui

Leader mondial des systèmes d'interconnexion électrique, Safran conçoit des harnais, meubles et armoires adaptés à tous types d'applications et de systèmes – y compris en environnements sévères.

Enjeux innovation

L'électrification des fonctions implique des câblages toujours plus denses et plus complexes, que Safran optimisera avec son outil de modélisation et planification du système d'interconnexion électrique de l'avion. Le Groupe travaille également sur des systèmes capables de supporter les hautes tensions nécessaires à la propulsion électrique.

DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

Aujourd'hui

Safran propose des solutions complètes pour le transport et la gestion de l'électricité depuis les générateurs vers les charges, via des cœurs de distribution électriques qui intègrent tout une gamme de composants (contacteurs, disjoncteurs, interrupteurs...) et l'électronique de commande.

Enjeux innovation

Avec les fortes puissances requises par l'électrification des fonctions non-propulsives et celle, émergente, de la propulsion, l'objectif est de développer des systèmes de distribution intelligents, capables de gérer un nombre croissant de charges, et de supporter les hautes tensions sans risque de surchauffe, de court-circuit ni d'arc électrique.

GÉNÉRATEURS AUXILIAIRES

Aujourd'hui

Safran fournit des équipements et des systèmes alternatifs de génération d'électricité tels que des groupes auxiliaires de puissance (Auxiliary Power Units, APU) qui alimentent les fonctions non-propulsives.

Enjeux innovation

Les architectures « plus et tout électriques » font évoluer le rôle de l'APU, de moins en moins auxiliaire dans l'équation énergétique. C'est dans cette perspective que Safran développe l'eAPU, répondant aux exigences des nouvelles générations d'avions. Le Groupe prépare déjà les prochaines étapes et, à un horizon plus lointain, une rupture technologique avec la pile à combustible comme complément voire substitut aux APU.

BATTERIES

Aujourd'hui

Tous les avions sont équipés de batteries qui servent à démarrer les moteurs. Dans ce domaine, Safran intervient en tant qu'intégrateur de la batterie dans la chaîne électrique. En parallèle, le Groupe développe sa propre technologie de « packs batteries » en intégrant les meilleures cellules et chimies disponibles sur le marché avec ses dispositifs de gestion thermique, mécanique et électronique.

Enjeux innovation

Les batteries de demain devront répondre au défi de la propulsion électrique. Pour cela, Safran travaille à augmenter de façon considérable leur puissance et leur autonomie, tout en conservant la masse la plus faible possible.

UNE TRANSFORMATION DE LA RELATION AVEC LES CLIENTS ET PARTENAIRES

Avec l'émergence des architectures « plus et tout électriques », c'est la façon même de concevoir les aéronefs qui évolue, et pousse les acteurs de l'industrie à coopérer plus étroitement en amont des projets.

Dans les aéronefs du futur, avec l'électrification des fonctions et les nouvelles architectures de propulsion, les produits des différents équipementiers seront plus imbriqués les uns avec les autres. Par exemple, les boîtiers de management de puissance devront être de plus en plus mutualisés – un même élément pouvant être appelé à alimenter successivement le démarreur des réacteurs, les actionneurs des freins, becs et volets, les compresseurs de pressurisation de la cabine, le dégivrage des ailes, les inverseurs de poussée... Ce type d'évolution transforme les schémas industriels traditionnels. Là où, jusqu'à présent, chaque équipementier tend à développer ses innovations en réponse aux spécifications transmises par l'avionneur sur un système donné, il faudra de plus en plus entrer dans des logiques de co-innovation. Parce que, dans ces nouvelles architectures, l'optimum de l'ensemble n'est pas obligatoirement la somme des optimums des sous-ensembles, l'avionneur et ses équipementiers devront coopérer beaucoup plus étroitement en amont des projets pour imaginer et mettre au point des solutions plus performantes.

Un systémier-intégrateur comme Safran continuera à proposer aux avionneurs et hélicoptéristes des briques technologiques « à la carte », mais celles-ci auront besoin encore plus fortement qu'auparavant d'avoir été pensées au sein d'un ensemble cohérent, vérifiant leur capacité à s'assembler, à délivrer leurs performances, à être utilisées de façon sécurisée et à être certifiées globalement au niveau de l'appareil.

Ce changement culturel majeur à l'échelle de l'industrie se reflète d'ailleurs à l'intérieur même de Safran. Depuis plusieurs années, le Groupe multiplie les passerelles entre ses différents métiers, entités et sociétés en matière de R&D¹, faisant collaborer dans le cadre de projets communs des experts de tous horizons : propulsion, génération et distribution électrique, électronique et avionique...



30 partenariats stratégiques dans tous les domaines de la R&T, avec :

- **des industriels :** Valeo, Alstom...
- **des laboratoires et universités :** ONERA, CEA, CNRS, Georgia Tech, IRT Saint-Exupéry...
- **des PME et start-ups innovantes :** Turbotech, OXIS, Prodways, SafetyLine, Kalray, Cailabs, Diota...

Le levier de l'innovation ouverte

Les architectures « plus et tout électriques » sont également au cœur de la politique d'innovation ouverte de Safran. Le Groupe contribue par exemple à l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint-Exupéry, dont l'avion plus électrique constitue l'un des trois axes de travail. Depuis 2017, Safran est par ailleurs engagé dans un accord de coopération technologique avec Alstom, dans le cadre duquel les deux partenaires industriels mettent en commun leurs compétences et savoir-faire dans le domaine de la propulsion électrique, en associant à leurs travaux institutions académiques et PME innovantes. Autre exemple de partenariat industriel : un partage d'expérience avec l'équipementier automobile Valeo qui permet à Safran d'enrichir sa réflexion sur l'outil industriel adapté à la production de moteurs électriques qui, selon certains scénarios, pourrait nécessiter des cadences décuplées par rapport au rythme de livraison des moteurs d'avion actuels.

Enfin, **Safran Corporate Ventures** contribue à la stratégie d'innovation du Groupe dans le domaine de l'électrification des aéronefs à travers deux prises de participation. La filiale de capital-risque a investi dans la société britannique OXIS Energy, leader dans les cellules lithium-soufre pour les systèmes de batteries à haute densité énergétique, ainsi que dans Turbotech, une start-up française fondée par quatre anciens collaborateurs de Safran, qui développe une gamme innovante de turbopropulseurs et turbogénérateurs électriques pour l'aviation légère.

¹ Recherche & Développement, comprenant la R&T (Recherche et Technologie), le développement des technologies pour des programmes identifiés et l'innovation en général.

Mobiliser la chaîne de l'innovation Safran

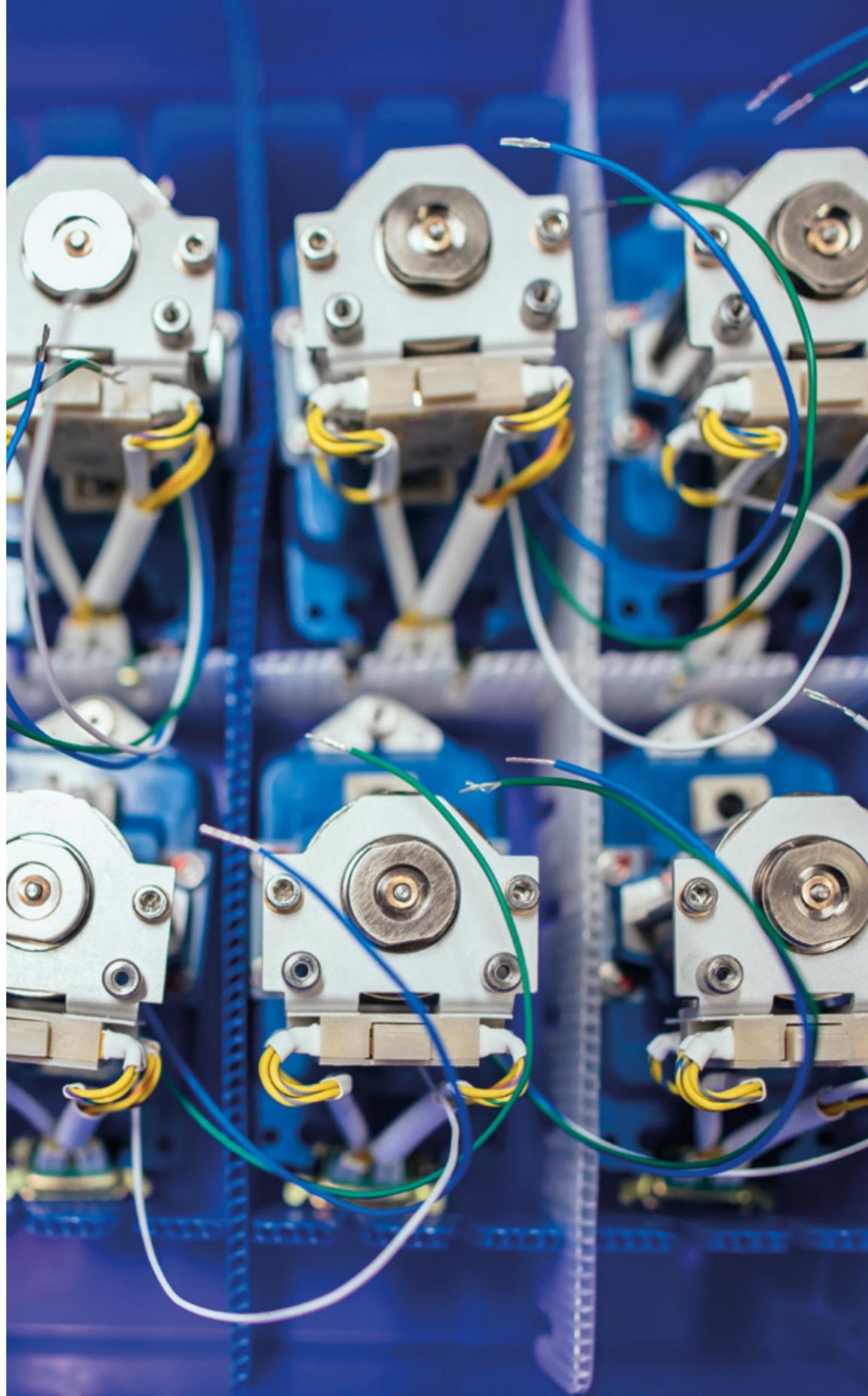
Safran investit une part significative de son chiffre d'affaires dans la R&D, avec une organisation et des processus de pointe afin de préparer les prochaines grandes ruptures technologiques de l'aéronautique.

L'hybridation électrique de la propulsion fait partie des quatre grandes initiatives de R&T animées de façon transversale à l'échelle du Groupe, aux côtés du développement des technologies digitales, des systèmes autonomes et de la fabrication additive. Cette thématique fait l'objet d'une feuille de route coordonnée par la Direction de l'Innovation afin de mutualiser les compétences en R&T avec les partenaires industriels et académiques de Safran.

L'objectif est de permettre au Groupe et à l'ensemble de ses sociétés d'explorer, avec le soutien du centre de recherche Safran Tech, les pistes les plus prometteuses non seulement en matière de propulsion électrique, mais également dans les technologies électriques non-propulsives.

La recherche et l'innovation dans ces domaines s'effectuent par ailleurs en adoptant **des méthodes agiles en mode « test & iterate »**. Ces dernières visent à valider une « preuve de concept » (*Proof of Concept*, POC) dans des délais considérablement accélérés comparés aux méthodes traditionnelles de l'innovation aéronautique. C'est notamment grâce à cette approche que les équipes de Safran ont réussi à concevoir en à peine 18 mois un système de propulsion distribué hybride électrique (SPHE) complet-testé avec succès en juin 2018 par Safran Helicopter Engines.

16%
DES SALARIÉS
DU GROUPE
travaillent dans
les métiers de R&D
de Safran



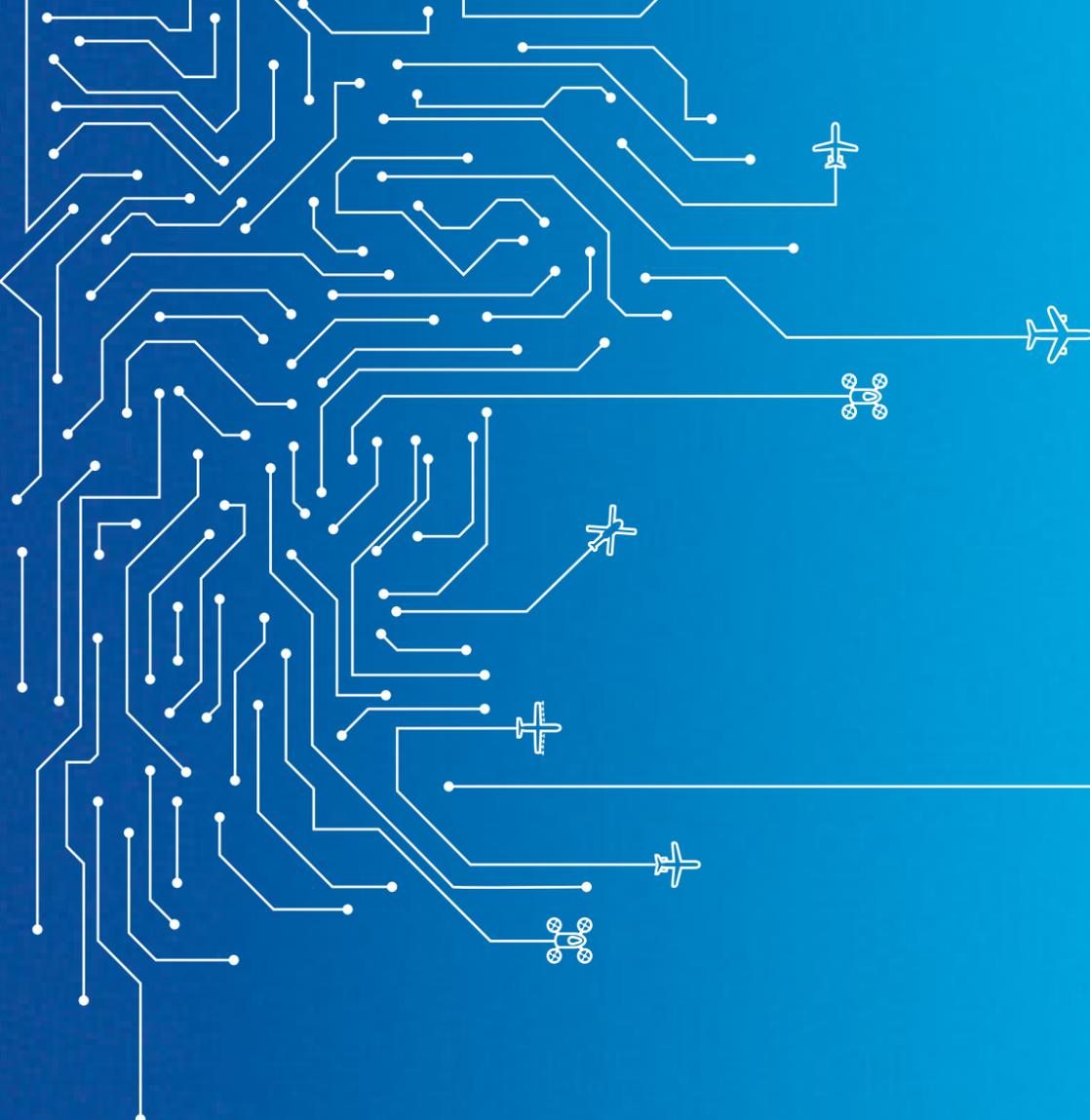
+ 1 000
BREVETS DÉPOSÉS
en 2018

+ 40 000
BREVETS
en portefeuille

75 %
de la R&T consacrés
à l'efficacité
environnementale

Un actif exceptionnel

Le site Safran à Niort dispose de l'un des moyens d'essais parmi les plus complets et performants au monde dans le domaine des systèmes électriques. L'installation ultra-moderne, qui s'étend sur plus de 26 000 m², permet de tester et certifier les équipements des principaux programmes aéronautiques (Airbus A350, Boeing 787...). C'est un outil extrêmement performant pour expérimenter les futures solutions des architectures « plus et tout électriques ».



**ÉLECTRIFIER
LA PROPULSION
DES AÉRONEFS**

S AFRAN AU CŒUR DU PROCHAIN CHAPITRE DE L'HISTOIRE AÉRONAUTIQUE

Alors que l'électrification des systèmes non-propulsifs nourrit une évolution continue des avions et hélicoptères depuis plusieurs décennies, celle de la propulsion promet une révolution : une façon radicalement nouvelle de concevoir les aéronefs, leur architecture, leur aérodynamique – et même leur modèle d'exploitation.

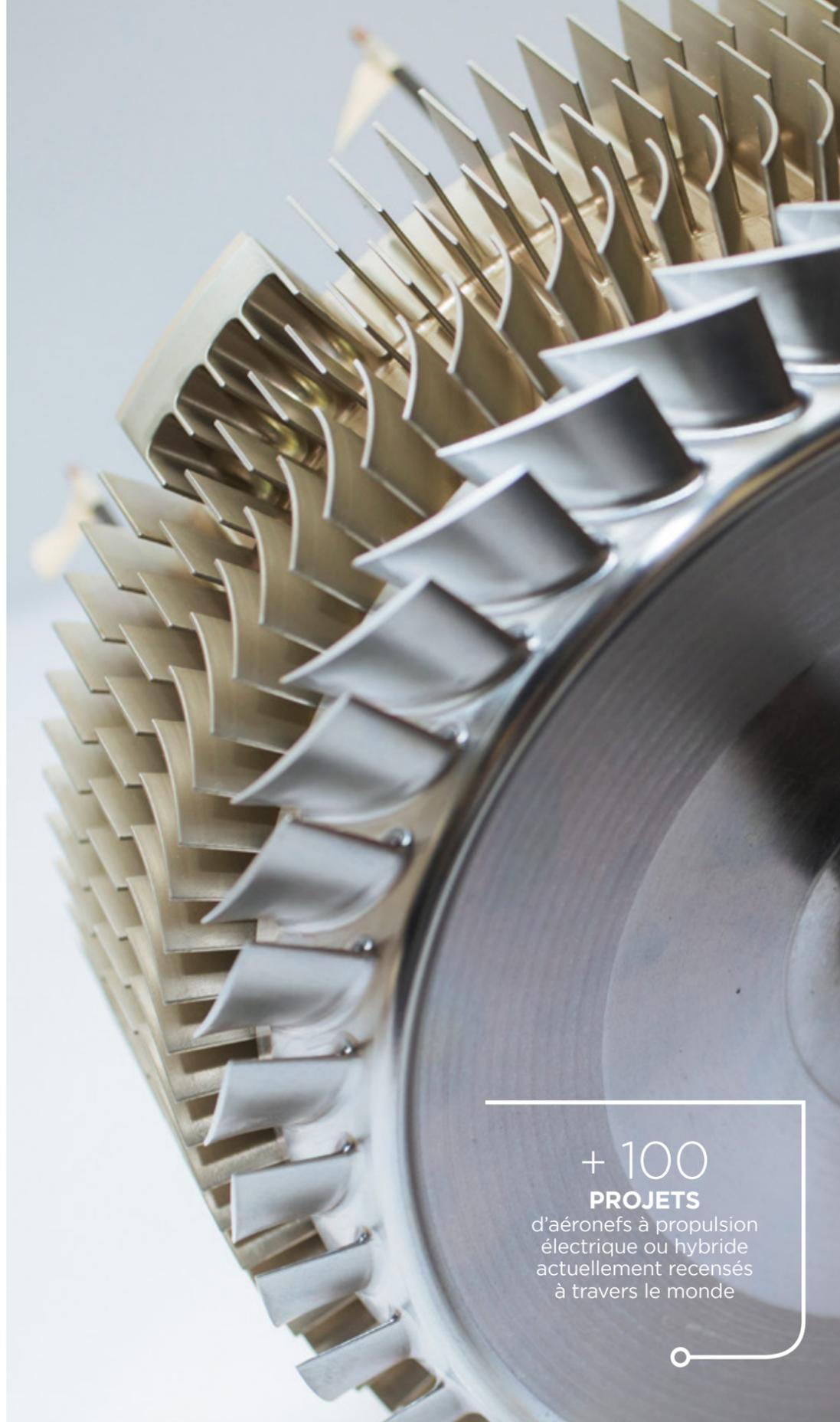
Les projets de recherche et d'innovation actuels sur l'électrification de la propulsion laissent imaginer un paysage aéronautique profondément renouvelé dans les décennies à venir – marqué en particulier par une plus grande diversité dans la forme et l'usage des engins volants. Cette diversité découlera notamment du degré d'emploi de l'électricité comme source d'énergie propulsive.

Certains aéronefs utiliseront des technologies de **micro-hybridation** : combinaison des moteurs thermiques actuels avec des petits moteurs électriques intelligents - à l'image du système « *start & stop* » déjà courant dans le monde de l'automobile, et développé par Safran dans le cadre du démonstrateur d'hélicoptère à grande vitesse Racer conçu par Airbus. Cette technologie permet au pilote

de mettre en veille l'un des deux moteurs durant les phases de croisière. Et, lorsque cela s'avère nécessaire (accélération, atterrissage, manœuvre d'urgence, etc.), le moteur en veille est réactivé à sa puissance maximale par un moteur électrique.

L'**hybridation** proprement dite consistera à développer des systèmes combinant des moteurs thermiques et de génération électrique plus puissants, intervenant directement dans la sustentation et la propulsion de l'aéronef, en plus d'alimenter ses fonctions non-propulsives. Enfin, le stade ultime sera la **propulsion 100% électrique**, de laquelle disparaît totalement le moteur thermique au profit d'une source d'énergie primaire purement électrique.

Actuellement, les projets explorant l'ensemble de ces possibilités se multiplient à travers le monde, émanant aussi bien d'acteurs établis de l'industrie que de start-ups. Au milieu de ce foisonnement d'annonces, Safran poursuit sa stratégie d'innovation de façon pragmatique : développer et proposer de nouveaux produits adaptés aussi bien à l'électrification des aéronefs classiques qu'à la propulsion de nouveaux concepts comme les véhicules à décollage et atterrissage verticaux multi-rotors, couramment appelés VTOL pour « *Vertical Take-Off and Landing aircraft* ».



+ 100
PROJETS
d'aéronefs à propulsion
électrique ou hybride
actuellement recensés
à travers le monde

L'objectif est de tester et faire mûrir les technologies à court et moyen termes afin d'être prêts à équiper à long terme tout type d'engin commercial avec des solutions de propulsion fiables, performantes et polyvalentes.

Pourquoi électrifier la propulsion des aéronefs ?

L'électrification totale ou partielle de la propulsion permet d'envisager des bénéfices significatifs.

1. Optimisation des performances

D'immenses progrès technologiques ont été accomplis sur les moteurs thermiques de dernière génération et d'autres sont encore possibles pour accroître leurs performances en jouant sur les architectures, les matériaux et les revêtements. L'hybridation ouvre une nouvelle voie pour réaliser des gains en masse, en carburant et en réduction des impacts environnementaux, notamment en évitant d'avoir à dimensionner le moteur thermique principal en fonction du besoin de puissance maximal - requis par exemple en phase de décollage.

2. Fiabilisation de l'exploitation

Les architectures plus électriques sont à la fois plus robustes et nécessitent moins de maintenance. Une gestion intelligente les rend plus compatibles avec les nouvelles technologies numériques permettant la collecte et l'analyse de données en vue d'une automatisation accrue, d'une optimisation du vol ou d'une meilleure anticipation et gestion des pannes.

3. Développement de nouveaux marchés

Par la présence même d'un nombre accru de moteurs électriques, certaines architectures comme les VTOL multi-rotors offrent une plus grande sécurité et pourraient ainsi renforcer les usages urbains ou péri-urbains de l'aviation, et en démocratiser l'accès grâce à des systèmes d'assistance voire d'automatisation du pilotage.

QUELLES ARCHITECTURES ET APPLICATIONS POUR LA PROPULSION ÉLECTRIQUE ?

Les technologies de propulsion électrique développées par Safran sont exploitables dans de nombreux types de plateformes, dont certaines constitueraient une approche inédite de l'aviation civile. Autant de besoins et de marchés différents, auxquels Safran est capable de répondre à partir des mêmes briques technologiques fondamentales.

50 000 à 100 000 AÉRONEFS EN SERVICE D'ICI 20 ANS

Le marché des nouvelles mobilités aériennes estimé par Safran

Le taxi aérien

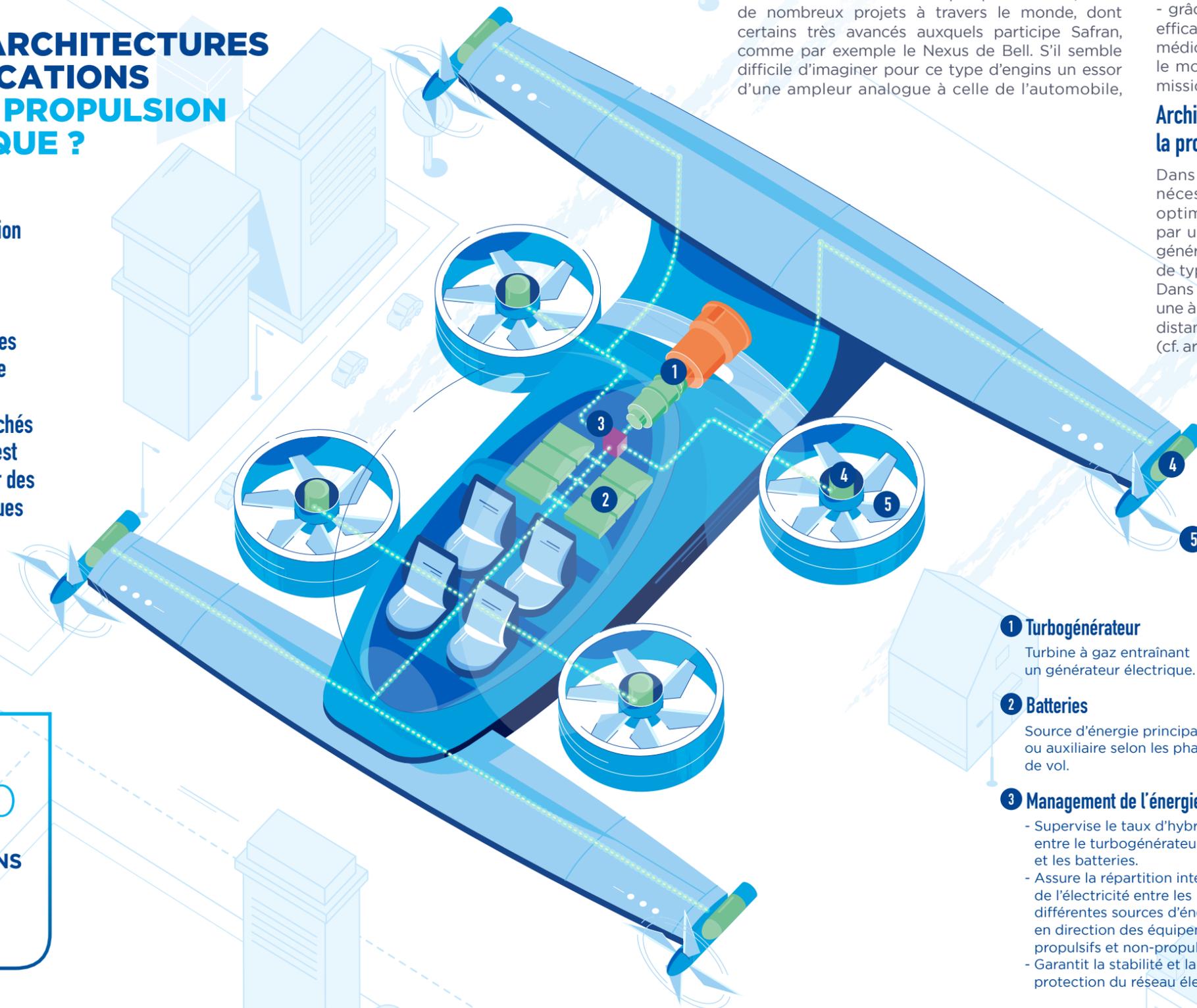
C'est le vieux rêve de la « voiture volante » à portée de main ! Les VTOL multi-rotors capables de transporter autour de 4 passagers pourraient devenir une réalité dans quelques années, avec de nombreux projets à travers le monde, dont certains très avancés auxquels participe Safran, comme par exemple le Nexus de Bell. S'il semble difficile d'imaginer pour ce type d'engins un essor d'une ampleur analogue à celle de l'automobile,

ces véhicules pourraient cependant représenter une alternative dans certaines situations : taxi aérien pour du transport intra ou péri-urbain dans les grandes agglomérations congestionnées, ou bien encore - grâce à leur fiabilité, leur rapidité et leur relative efficacité acoustique - sur le marché de l'évacuation médicale sanitaire. Pour les mêmes raisons, le monde militaire s'intéresse aux VTOL pour des missions logistiques ou spéciales.

Architecture potentielle : la propulsion hybride distribuée

Dans ce schéma, la génération de puissance nécessaire à la propulsion est assurée de façon optimisée en fonction de chaque phase de vol par un turbogénérateur (une turbine couplée à un générateur électrique) et par une source électrique de type batterie.

Dans le cas d'un taxi aérien capable de transporter une à deux personnes seulement sur de plus courtes distances, la propulsion peut être 100 % électrique (cf. architecture page 22).



1 Turbogénérateur

Turbine à gaz entraînant un générateur électrique.

2 Batteries

Source d'énergie principale ou auxiliaire selon les phases de vol.

3 Management de l'énergie

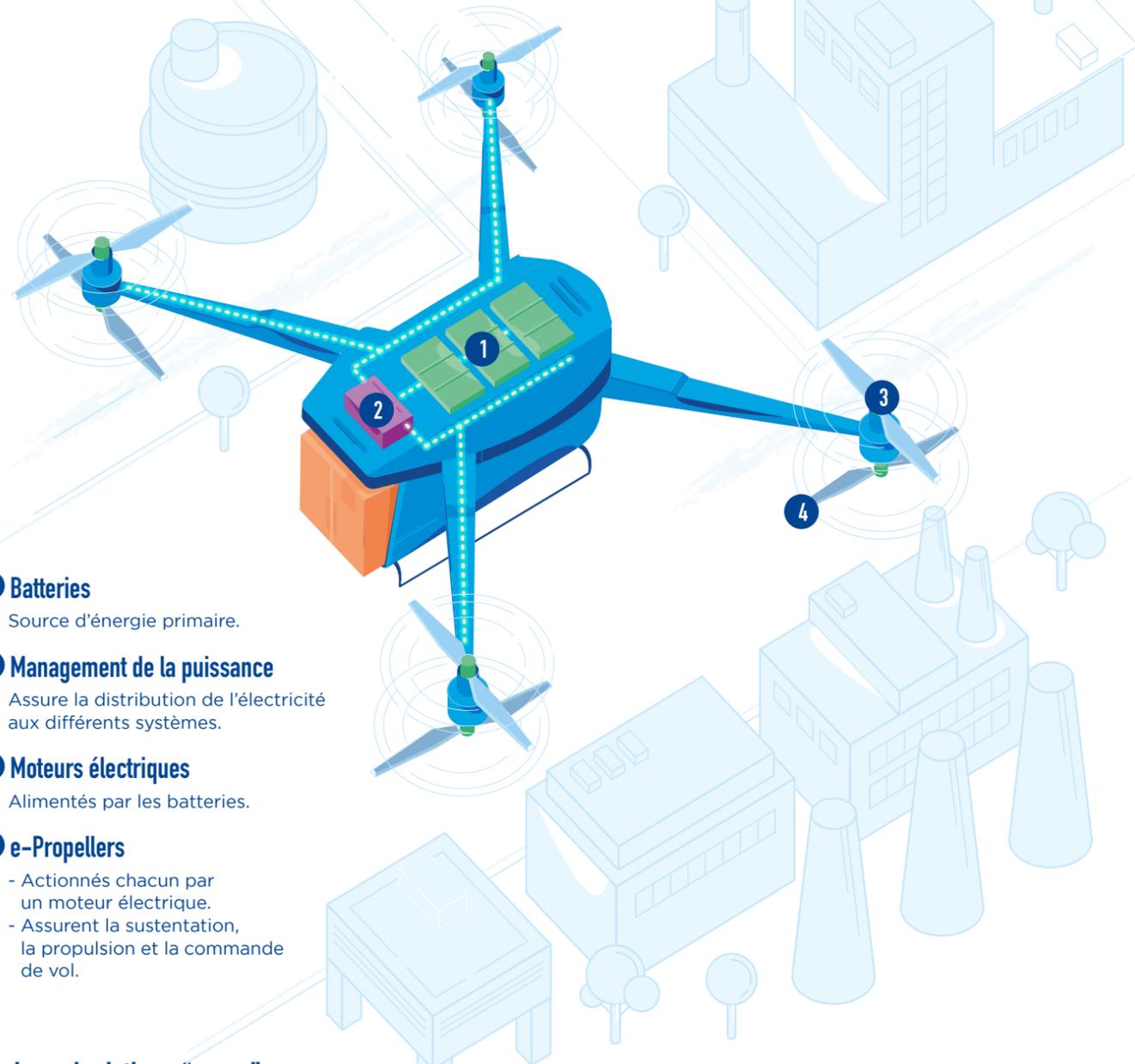
- Supervise le taux d'hybridation entre le turbogénérateur et les batteries.
- Assure la répartition intelligente de l'électricité entre les différentes sources d'énergie en direction des équipements propulsifs et non-propulsifs.
- Garantit la stabilité et la protection du réseau électrique.

4 Moteurs électriques

Alimentés par le turbogénérateur, les batteries ou une combinaison des deux sources.

5 e-Propellers

- Actionnés chacun par un moteur électrique.
- Assurent la sustentation, la propulsion et la commande de vol.



1 Batteries

Source d'énergie primaire.

2 Management de la puissance

Assure la distribution de l'électricité aux différents systèmes.

3 Moteurs électriques

Alimentés par les batteries.

4 e-Propellers

- Actionnés chacun par un moteur électrique.
- Assurent la sustentation, la propulsion et la commande de vol.

Le drone logistique "cargo"

Des VTOL à propulsion électrique pourraient avoir des débouchés sur le marché du fret à faible distance. Des prototypes existent déjà, capables de soulever une charge utile de plusieurs dizaines de kilos. Ce type d'aéronefs pourrait notamment trouver son application sur le marché de la logistique des « 10 derniers kilomètres » - un maillon actuellement problématique pour les transporteurs dans un contexte de congestion croissante des axes routiers dans les grandes agglomérations et de normes de plus en plus strictes sur les émissions de CO₂ et de particules en ville. Ces applications sont d'autant plus intéressantes qu'elles pourraient être

couplées avec des solutions de pilotage automatique ou à distance, plus facilement et rapidement acceptables pour le marché du transport de fret. Avec les technologies actuelles, une architecture 100 % électrique ne permettrait pas le transport de fret sur de grandes distances, mais le même concept d'aéronef pourrait être déployé avec une architecture hybride lui conférant beaucoup plus de puissance et d'autonomie.

Architecture potentielle : la propulsion 100% électrique

La propulsion est fournie uniquement par de l'énergie tirée de batteries.



La navette de proximité

Safran s'intéresse aussi à un autre type d'aéronef et d'usage : les petits avions de transport régional (*commuter*), capables d'accueillir de l'ordre d'une dizaine de passagers. Des architectures propulsives hybrides pourraient rendre ces appareils pertinents et compétitifs sur des liaisons régulières de quelques centaines de kilomètres dans certaines régions du monde comme les États-Unis : c'est le pays qui possède le plus d'aéroports au monde, mais on estime que 80 % d'entre eux sont peu ou pas utilisés en raison de la difficulté à rentabiliser les avions à propulsion conventionnelle sur de faibles distances et, surtout, de réglementations trop contraignantes sur les nuisances sonores liées à ces plateformes de proximité. Si, pour de tels usages, la propulsion 100 % électrique semble hors de portée à court terme, différents degrés et architectures d'hybridation sont en revanche envisageables.

Architecture potentielle : la propulsion hybride combinée série / parallèle

Une architecture qui combine une propulsion classique avec un turboréacteur et une propulsion électrique avec « smart motors » et « e-propellers ». Ces dernières peuvent apporter une assistance et un regain de puissance à la turbine en cas de besoin, ou bien s'y substituer totalement en étant alimentées par des batteries - par exemple en phase de croisière.

1 Turboréacteur

Moteur principal sollicité pendant les phases de vols consommatrices de puissance.

2 Générateur

Convertit une partie de l'énergie du réacteur en électricité.

3 Batteries

Source d'énergie principale ou auxiliaire selon les phases de vol.

4 Management de l'énergie

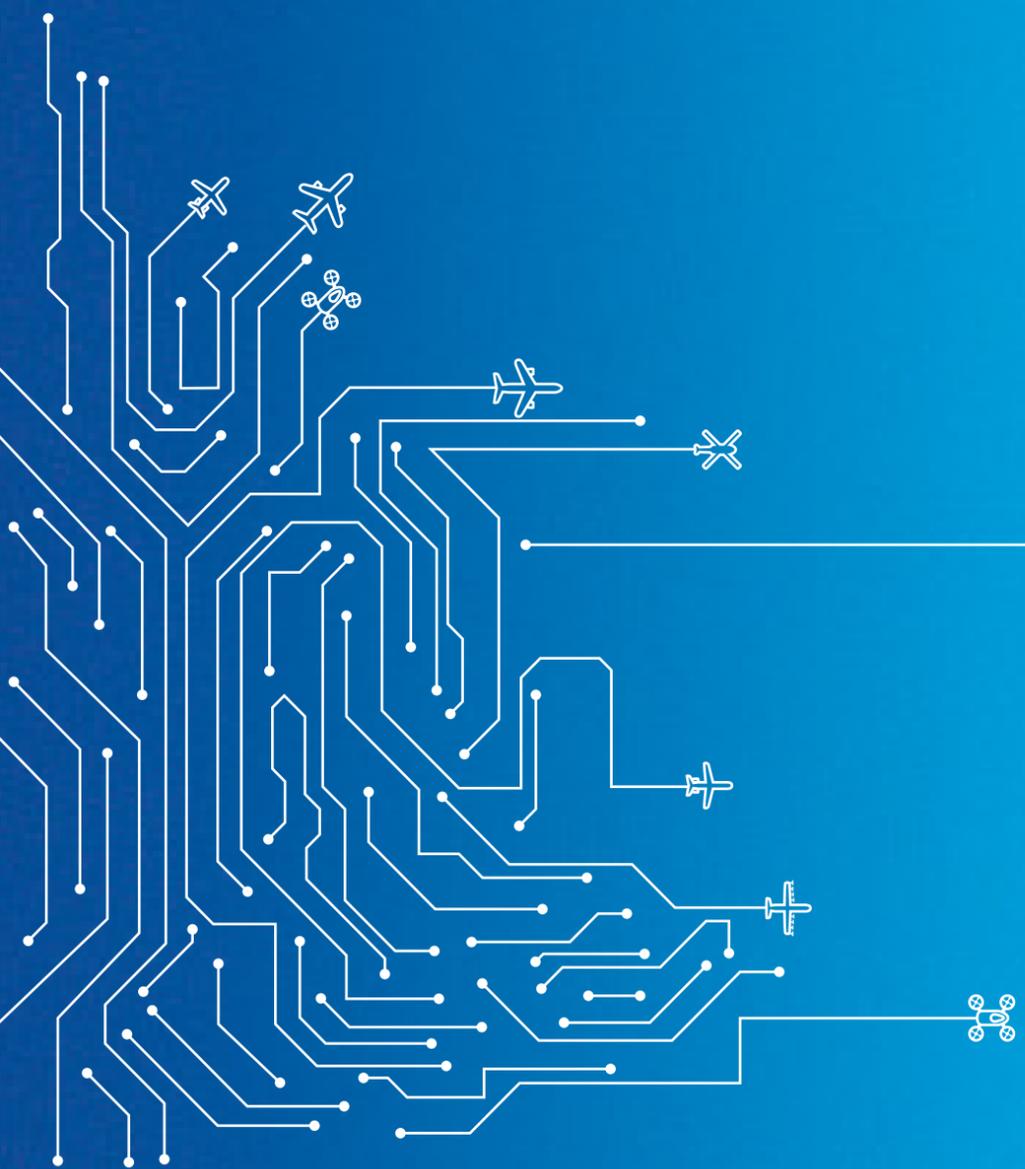
- Supervise le taux d'hybridation entre le turbogénérateur et les batteries.
- Assure la répartition intelligente de l'électricité entre les différentes sources d'énergie en direction des équipements propulsifs et non-propulsifs.
- Garantit la stabilité et la protection du réseau électrique.

5 Moteurs électriques

Alimentés par le turbogénérateur, les batteries ou une combinaison des deux sources.

6 e-Propellers

- Actionnés chacun par un moteur électrique.
- Assurent la sustentation, la propulsion dans certaines phases, ainsi que la commande de vol.

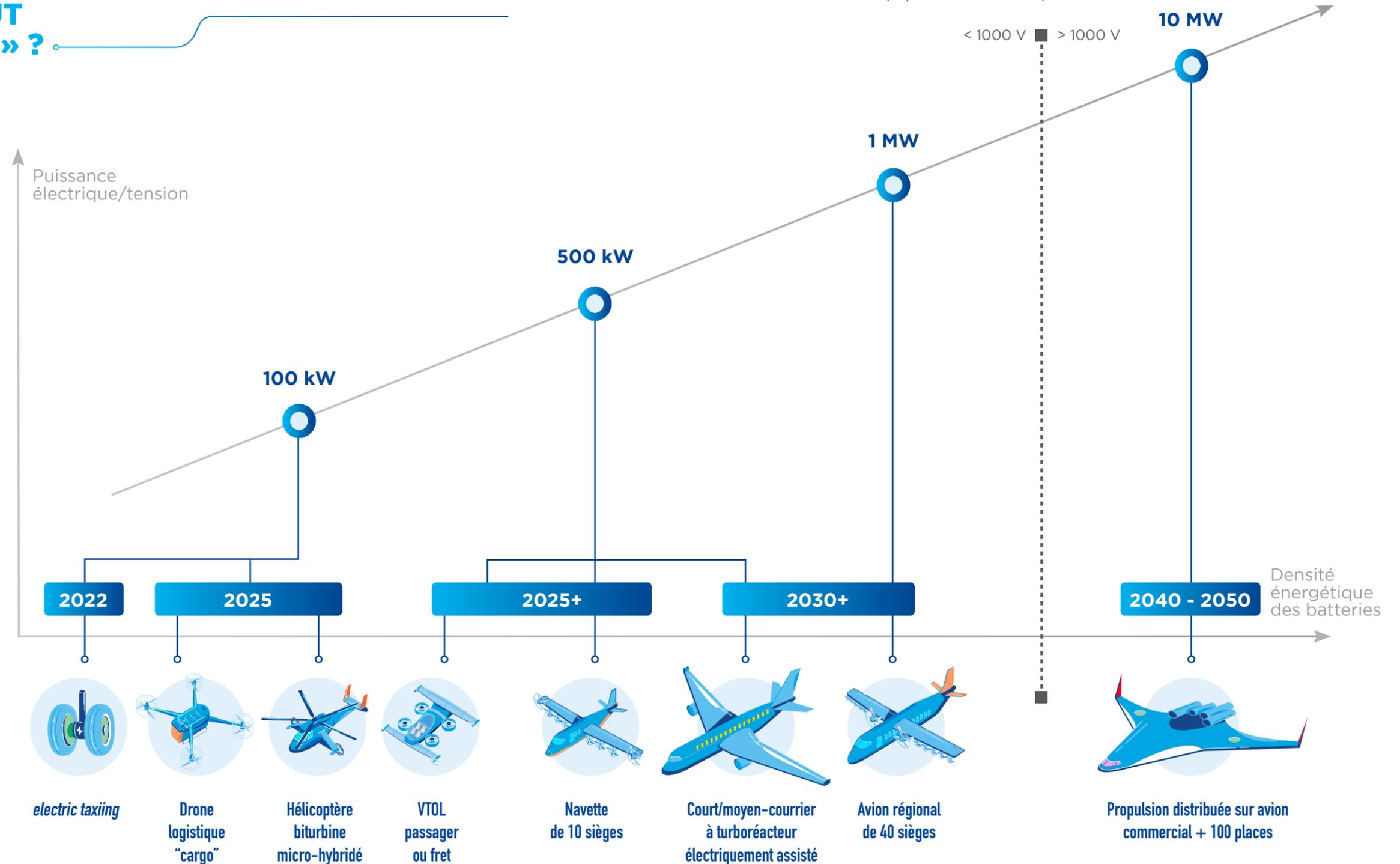


✈ **UN LONG CHEMIN
VERS L'AVION
100% ÉLECTRIQUE**

QUEL HORIZON POUR LES ARCHITECTURES « PLUS ET TOUT ÉLECTRIQUES » ?

La mise en service plus ou moins lointaine des différents types d'aéronefs électriques dépend de multiples critères. Safran anticipe une évolution du marché pas à pas, en commençant par les applications les plus légères et à courtes distances, à mesure que les technologies seront suffisamment matures pour stocker et fournir la puissance électrique nécessaire à la propulsion.

Barrière technologique incertaine liée à la densité énergétique des batteries et à la gestion des hautes tensions (supérieures à 1 000 V)



CERTAINES APPLICATIONS DÉJÀ À PORTÉE DE MAIN

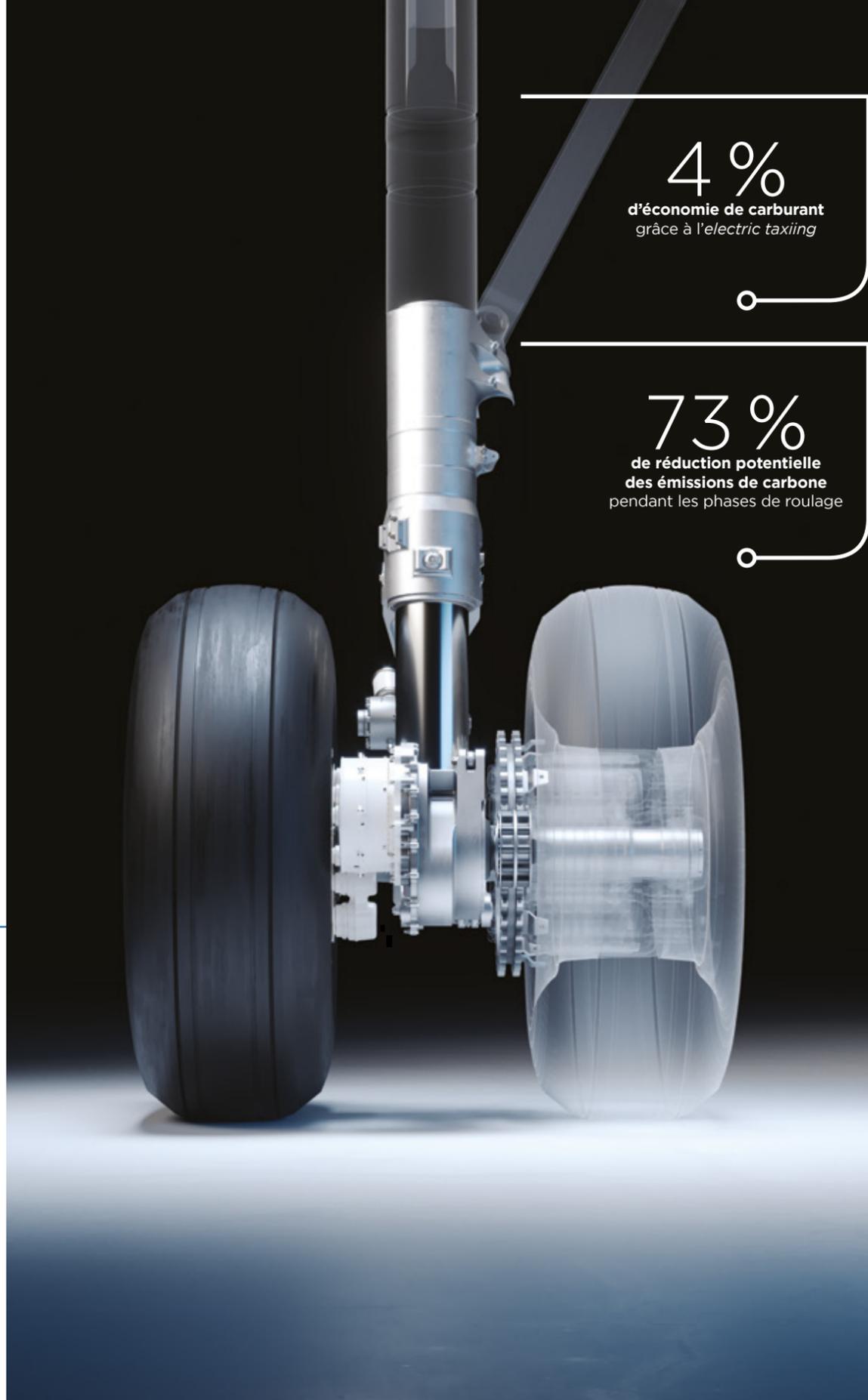
Si l'avion « tout » électrique reste un point à l'horizon, l'avion « plus » électrique devient chaque jour un peu plus une réalité grâce aux équipements et systèmes développés par Safran pour rendre les appareils de demain plus performants, fiables et économiques.

Safran est l'un des pionniers et un acteur parmi les plus innovants de l'industrie dans le domaine de l'avion « plus » électrique.

Aujourd'hui, le Groupe propose une gamme étendue de produits électriques alternatifs aux systèmes pneumatiques et hydrauliques, pour la plupart déjà en service sur des programmes existants : dégivrage, démarrage, actionneurs de commande de vols, inverseurs de poussée, freins... Le Groupe poursuit ses travaux autour de l'électrification de ces systèmes qui visent à simplifier l'architecture énergétique globale, la maintenance et à optimiser le contrôle de ces fonctions. Safran continuera d'innover dans ces technologies stratégiques, pour maîtriser et accompagner l'évolution vers les architectures avion ou hélicoptère plus électriques.

Des avions de plus en plus électriques

	Airbus A320	Airbus A380	Boeing 787	Nouvelle génération
Dégivrage				
Conditionnement de l'air	Pneumatique	Pneumatique		
Avionique	Électrique	Électrique	Électrique	Electrique
Charges intérieures				
Freinage				
Commandes de vol	Hydraulique	Partiellement électrique	Hydraulique	Partiellement électrique
Trains, inverseurs de poussée				
Puissance embarquée	< 200 kW	600 kW	1 000 kW	> 1 000 kW



4 %
d'économie de carburant
grâce à l'*electric taxiing*

73 %
de réduction potentielle
des émissions de carbone
pendant les phases de roulage

Vers une industrialisation de l'*electric taxiing*

Safran a créé l'événement en proposant la première solution d'*electric taxiing* : un moteur électrique intégré au train d'atterrissage et alimenté par le groupe auxiliaire de puissance (APU), qui évite d'avoir recours au moteur principal pour le roulage sur le tarmac. Cette innovation est aujourd'hui en phase de développement avec Airbus sur le programme A320neo/ceo pour une mise en service des premiers avions équipés à l'horizon 2022. Selon une étude menée auprès des compagnies aériennes, cet équipement a beaucoup de sens dans les aéroports chargés où le temps de roulage peut être long, ainsi que pour les compagnies effectuant de nombreuses navettes quotidiennes. En optant pour cette technologie innovante, elles pourront réduire leurs coûts opérationnels tout en réduisant leur impact environnemental au sol.

Une puissance justement dimensionnée avec le PODS (*power on demand system*)

Parmi les sujets de R&T figure notamment l'évolution du rôle des groupes auxiliaires de puissance (APU) au service de l'optimisation de la chaîne énergétique et de la performance des moteurs. Dans un schéma global de gestion des énergies propulsives et non-propulsives, les APU pourraient revêtir une importance croissante en prenant en charge un plus grand nombre de fonctions lors des différentes phases de vol de l'aéronef. Le Groupe a déjà fait un premier pas dans cette direction avec le lancement de l'eAPU. Il travaille aujourd'hui sur un concept plus poussé : le système PODS, un générateur secondaire intelligent capable de se mettre en route automatiquement lorsqu'il est plus avantageux de puiser l'énergie de bord sur l'APU plutôt que sur la turbine principale.

D

E MULTIPLES VERROUS ENCORE À LEVER POUR L'AVIATION COMMERCIALE

Le cap vers l'électrification des fonctions propulsives est inscrit dans le sens de l'histoire. Un constat réaliste s'impose cependant : en l'état actuel de la science, la propulsion 100 % électrique d'un avion commercial de grande taille est impossible à court ou moyen terme.

La principale raison à ce phénomène tient à la difficile équation des grandes puissances. Pour atteindre les dizaines de mégawatts nécessaires à l'alimentation d'un avion de grande taille pendant une durée de vol de plusieurs heures, il faudrait faire progresser les meilleures technologies de batterie actuelles à minima d'un facteur 10. Même avec une densité énergétique 5 fois supérieure à ce qui existe aujourd'hui dans le monde de l'automobile, un vol longue distance (5 400 km) nécessiterait d'embarquer 170 tonnes de batteries - à comparer avec les quelque 80 tonnes de masse maximale au décollage d'un avion monocouloir de type Airbus A320 ou Boeing 737.

Attention : hautes tensions

Cette question du poids est rendue plus complexe encore par le passage de ce type de système dans la catégorie des hautes tensions, au-delà de 1000 volts. Banale dans l'univers ferroviaire, la gestion sécurisée de ces tensions (isolation, dissipation de chaleur...) pèse très lourd, et pose des difficultés exponentielles lorsqu'il s'agit d'envoyer la "locomotive" à 10 000 mètres d'altitude... Sans compter que la physique des hautes tensions n'est pas la même au sol et en haut de la troposphère : leur gestion dans l'environnement extrême du vol de croisière est une discipline inédite dans l'aéronautique, que la recherche commence tout juste à explorer.

Le défi réglementaire

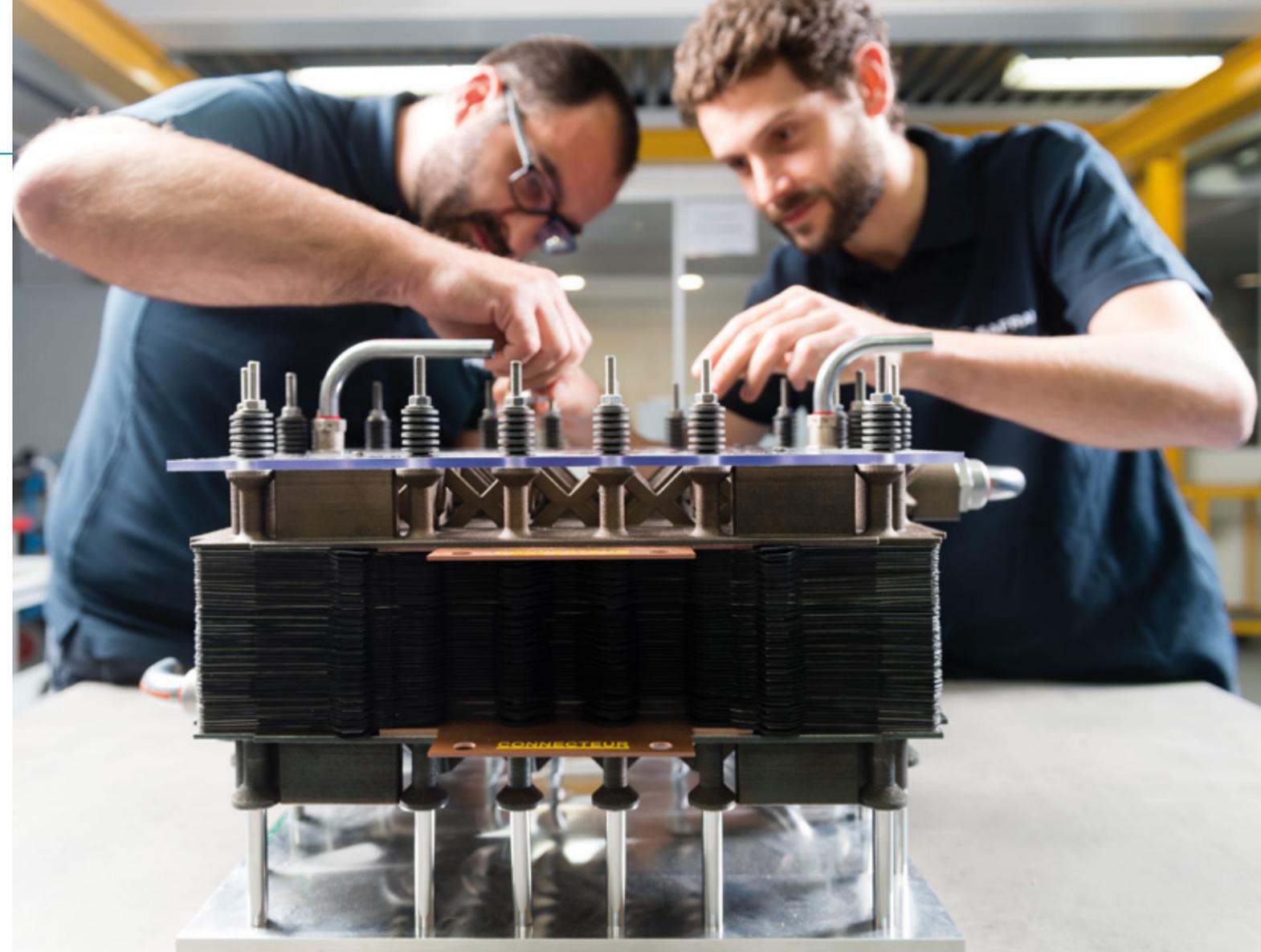
À ces verrous technologiques majeurs s'ajoutent de nombreuses inconnues au niveau de la réglementation aérienne. Au-delà du fait qu'il n'existe actuellement aucune législation adaptée, par exemple, aux usages urbains et péri-urbains imaginés pour les VTOL, les futures architectures propulsives distribuées vont sans doute rebattre les cartes en matière de certification.

Des enjeux sociétaux

Enfin, restera la question de l'acceptabilité sociétale de ces nouveaux modes de mobilité aérienne à propulsion électrique. D'un point de vue géopolitique, ces technologies seront consommatrices

Quel carburant pour l'électricité ?

La question n'est pas si absurde quand on considère les différentes possibilités d'alimentation des aéronefs en énergies primaires. Ainsi, la R&T de Safran étudie depuis plusieurs années les technologies de pile à combustible comme alternative au stockage de l'électricité dans des batteries. Ces technologies pourraient se révéler pertinentes dans des architectures propulsives de faible puissance mais, passé un certain seuil, elles sont pour l'instant limitées par des enjeux de masse de façon assez analogue aux batteries. Dans ce contexte, au vu des objectifs élevés à atteindre en matière de réduction des impacts environnementaux de l'aviation, Safran travaille sur d'autres alternatives au kérosène, qui reste l'énergie la plus performante. Le Groupe s'intéresse ainsi au potentiel des biocarburants et à celui de « e-fuels », carburants synthétiques à moindre émissions de gaz à effet de serre (hydrogène produit par électrolyse ou méthane synthétique).



de terres rares (notamment pour les batteries), ce qui soulève le problème de l'éthique et de la pérennité de leurs chaînes d'approvisionnement. Au plan environnemental, leur bilan sera sans doute globalement favorable comparé aux architectures actuelles, mais peut-être pas partout ni tout le temps : on peut

imaginer des régions où les VTOL seront une alternative bienvenue à la congestion des transports terrestres dans les mégapoles, mais d'autres aussi où ils ne feront qu'ajouter une dimension verticale à la pollution et aux nuisances sonores et visuelles...

Saut après saut technologique, défi après défi, entre risques et opportunités, c'est bel et bien un nouveau monde qui s'ouvre aux acteurs de l'aéronautique et du transport aérien. Et Safran y occupe d'ores et déjà les avant-postes.

POWERED BY TRUST

À propos de Safran

Safran est un groupe international de haute technologie opérant dans les domaines de la propulsion et des équipements aéronautiques, de l'espace et de la défense. Implanté sur tous les continents, le Groupe emploie plus de 92 000 collaborateurs pour un chiffre d'affaires de 21 milliards d'euros en 2018. Safran occupe, seul ou en partenariat, des positions de premier plan mondial ou européen sur ses marchés. Pour répondre à l'évolution des marchés, le Groupe s'engage dans des programmes de recherche et développement qui ont représenté en 2018 des dépenses d'environ 1,5 milliard d'euros. Safran est une société cotée sur Euronext Paris et fait partie des indices CAC 40 et Euro Stoxx 50.

Pour en savoir plus :
www.safran-group.com

@Safran 

