

Conférence IESF :

Transport aérien : perspectives autour des nouveaux carburants et de l'électrification





Contexte.

Impact de l'aviation sur le réchauffement climatique.

Impact de l'aviation sur le réchauffement climatique

<5%

Emissions CO₂ :

- Renforcement de l'effet de serre
- Effet à long terme & cumulatif
- Impact : ~ 2,5% des émissions totales de CO₂ produit par l'aviation (2018)

Emissions non CO₂ :

- Cirrus induits, Nox, vapeur d'eau stratosphérique
- Effet à court terme & dépend du trafic
- Impact : sujet à discussion / nombreuses études en cours

Objectif d'émissions CO₂ de l'aviation en 2050 *

0%

* Objectif ATAG (Air Transport Action Group)

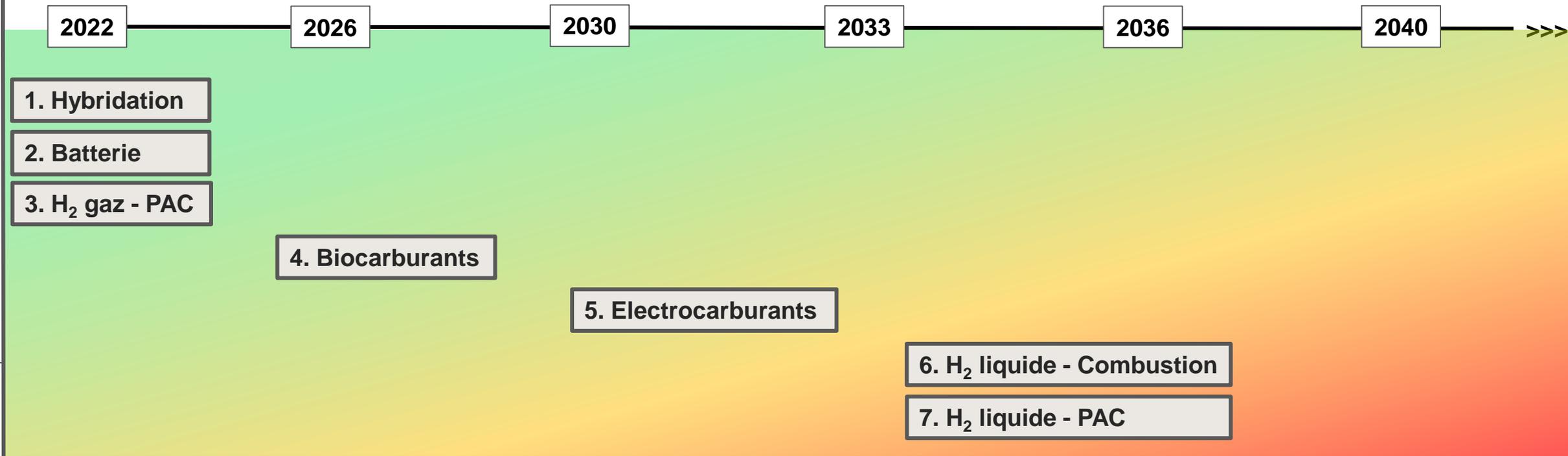
Trafic aérien.

- ❑ Augmentation de la classe moyenne dans le monde (5,3 milliard d'individus en 2030 ¹)
 - ❑ Fort développement du transport aérien prévu en Asie et en Afrique
 - ❑ Report modal Aéronautique / Rail très limité
- L'IATA ² prévoit un doublement du trafic de passagers au niveau mondial sur la période 2019-2037.

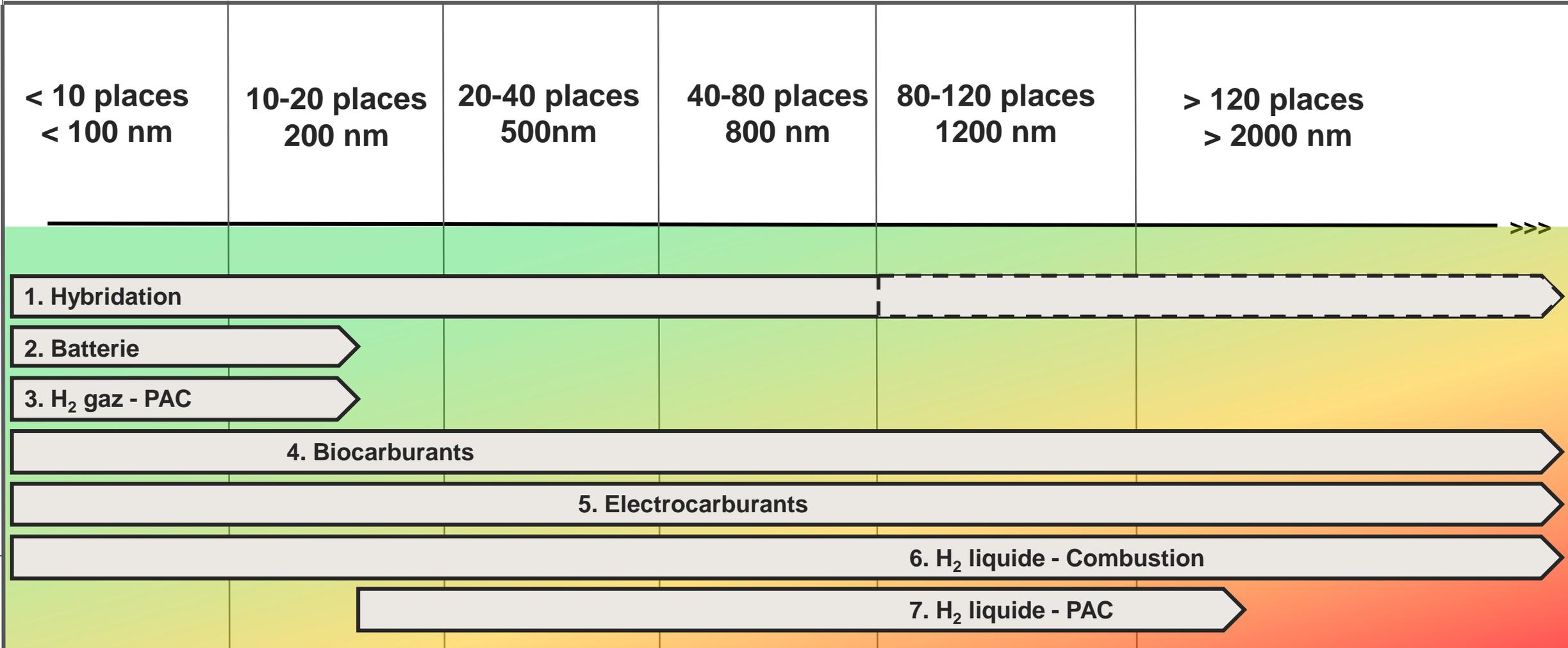
¹ <https://www.institutmontaigne.org/blog/-:text=Ceux-ci%20r%C3%A9v%C3%A8lent%20une%20classe,%C3%AAtre%20asiatique%20%C3%A0%20cet%20horizon.>

² Association internationale du transport aérien

Déploiement prévisionnel des sources d'énergie décarbonée



Sources d'énergie décarbonée adaptées aux type de mission des avions



Exemples de projets industriels visant à déployer les sources d'énergie décarbonée

< 10 places < 100 nm	10-20 places 200 nm	20-40 places 500nm	40-80 places 800 nm	80-120 places 1200 nm	> 120 places > 2000 nm
>>>					
1.  Ascendance / Voltaero					
2.  Pipistrel / Alice Aviation / Aura Aero / Heath Aerospace					
3.  Beyond Aero / Zero Avia					
4.  Airbus, ATR & Boeing ont déjà réalisé des tests en vol 100% biocarburants					
5.  RAF a déjà réalisé des tests en vol 100% électrocarburants					
				6.  AIRBUS	
				7.  ZERO EMISSION	



Les leviers à actionner.

Levier 1 : Source d'énergie – Les batteries.

Avantages

- Suppression des effets CO2 pendant le vol
- Suppression des effets non-CO2



Inconvénients

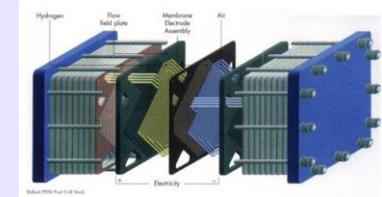
- Rapports masse/puissance et densité de stockage des batteries → Emport limité à ~ 20 places en « full batteries » et faible distance parcourue avec les technologies actuelles
- Risque d'explosion des batteries
- Nécessité de produire une quantité importante d'électricité bas-carbone
- Recyclabilité des batteries
- Logistique : recharge batteries

Levier 1 : Source d'énergie – L'hydrogène.

2 solutions H₂ : pile à combustible ou / et turbine à combustion

Avantages

- Suppression des effets CO₂ pendant le vol
- Diminution des effets non-CO₂ (à confirmer)



Inconvénients

- Volume de l'hydrogène → Stockage comprimé lourd & stockage cryogénique à -253°C encombrant et lourd
- Conditionnement de l'hydrogène et refroidissement des PAC
- Masse des PAC → Emport limité ~ 120 places en « full PAC » avec les technologies actuelles
- Nécessité de produire une quantité importante d'électricité bas-carbone pour produire l' H₂ via l'électrolyse de l'eau

Levier 1 : Source d'énergie – Les biocarburants.

Avantages

- Diminution des effets CO2
- Diminution des effets non-CO2
- Solution mature, rapide à mettre en place (drop-in fuels)

Inconvénients

- Ressources limitées (compétition avec le secteur agro-alimentaire ou collecte de la matière lignocellulosique)
- Emissions de CO2-eq fortement dépendantes des matières premières / voies de production
- Certification : taux maximal d'incorporation actuel autorisé = 50 %

Levier 1 : Source d'énergie – Les électrocarburants.

Avantages

- Diminution des effets CO2
- Diminution des effets non-CO2
- Faible impact sur l'avion (drop-in fuels)

Inconvénients

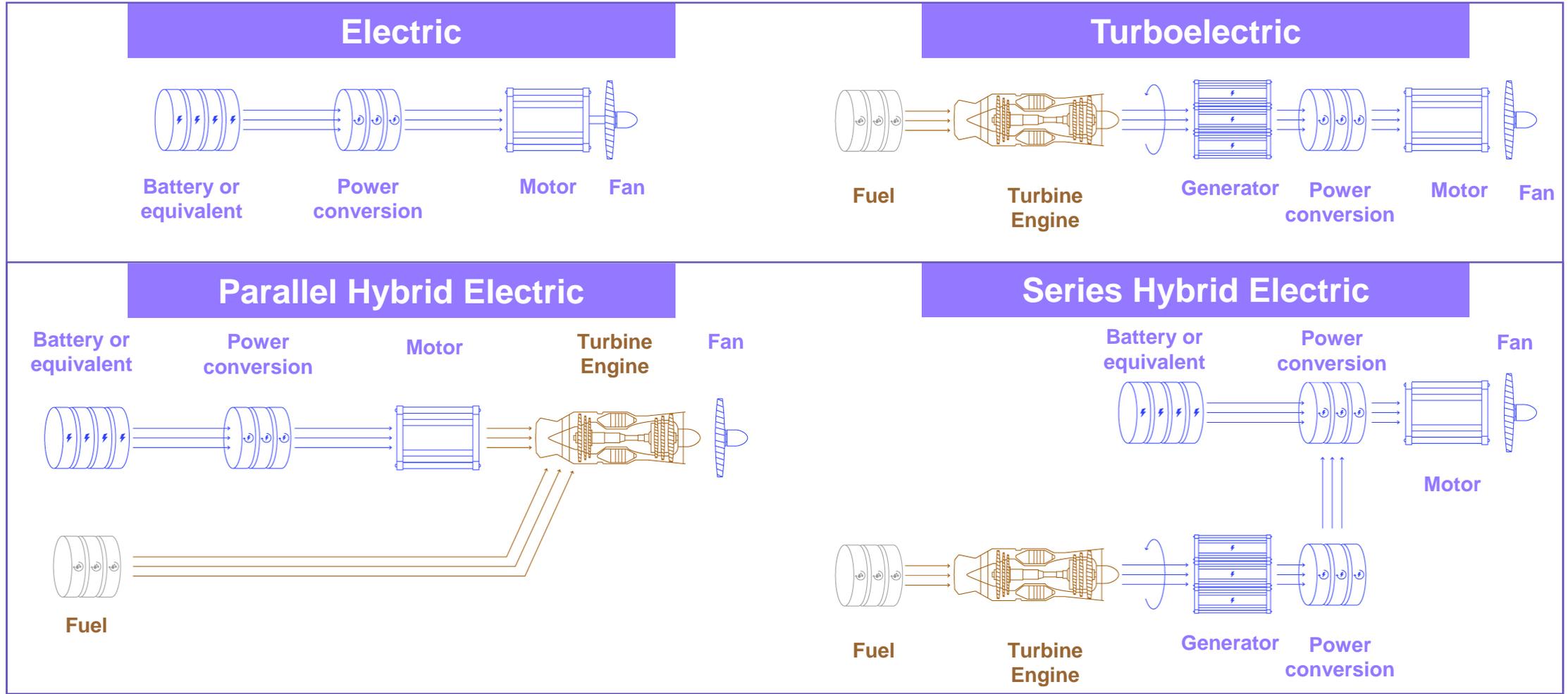
- Nécessité de produire une quantité importante d'électricité bas-carbone pour produire l'H₂ via l'électrolyse de l'eau
- Certification en cours

Levier 2 : Trajectoire de vol.

- Eviter les zones sursaturées en glace,...
- Optimisation des trajectoires de vol non traitée dans le cadre de ce projet
- Thématique adressée dans le programme SESAR

<https://www.ecologie.gouv.fr/sesar-volet-technologique-du-ciel-unique-europeen>

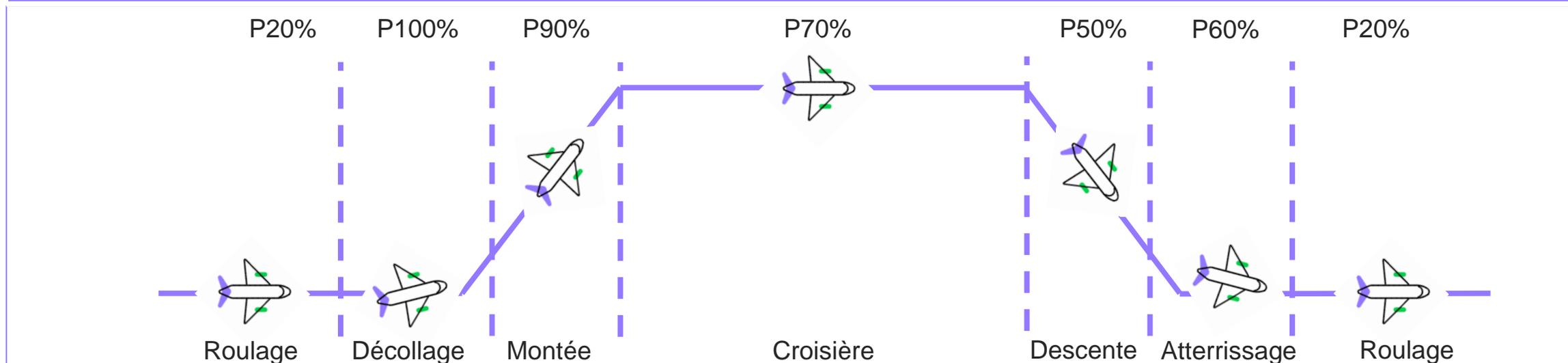
Levier 3 : Propulsion électrique.



Le choix de l'architecture électrique dépend de la source d'énergie sélectionnée

Levier 3 : Propulsion, pistes à explorer

Gestion de l'hybridation selon la puissance nécessaire durant les phases de vol



Propulsion distribuée

- Diminution des pertes d'énergie liées aux frottements
- Décollage et atterrissage sur plus courtes distances
- Participation des moteurs au pilotage de l'avion
- Amélioration de la sécurité du vol



Nouveau moteur

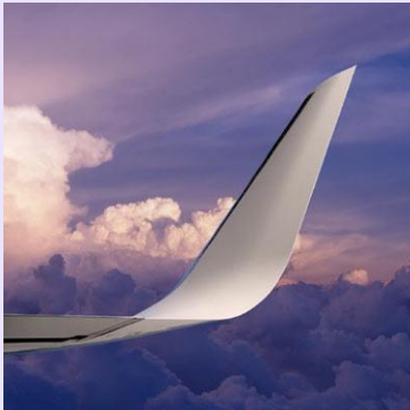
- Open rotor : limite en nombre de Mach de vol repoussée jusqu'à 0,75
- Economies de carburant par pass.km de l'ordre de 10 % à 20 %



Levier 4 : Aérodynamique.

Amélioration incrémentale (~10%)

- Winglet
- Ailes laminaires



Ou

Amélioration de rupture (~25% TBC)

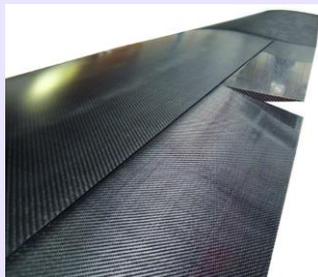
- Nouvelles formes avion (aile volante hybride)
- Permet l'utilisation d'H₂ liquide en grande quantité



Levier 5 : Masse.

Matériaux composites (10 à 15%)

- ❑ L'A350 utilise déjà plus de 50 % de matériaux composites
- ❑ Comprendre et modéliser le comportement des composites pour permettre leur déploiement encore plus massif.



Fabrication additive (~6%)

- ❑ Conception et production de pièces très complexes aux géométries inenvisageables jusque-là
- ❑ Diminution du recours aux matériaux métalliques (nickel, titane et aluminium)



Systemes

- ❑ Diminution de la masse des systèmes embarqués

Levier 6 : Trafic.

- Réduction du trafic aérien (à priori, non réaliste)

Contraintes : Certification.

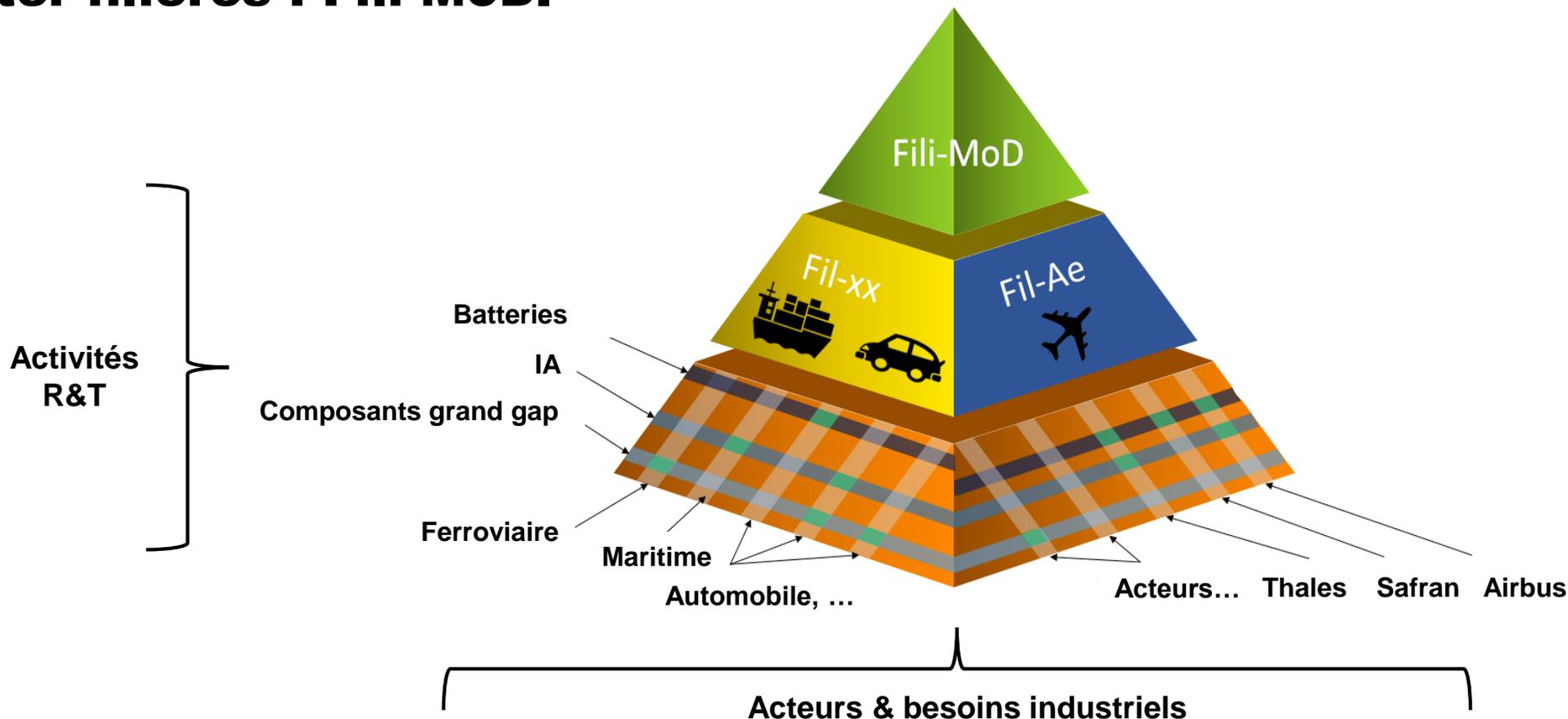
- Certification des biocarburants et des e-fuels au-delà de 50%
- Avitaillement hydrogène et utilisation à bord
- Certification au 10^{-9} des systèmes hydrogènes (nombre de pannes du sous-système / heure de vol)
- IA explicable et embarquable (qualifiable, certifiable)
- Outils d'optimisation certifiés
- ...

La démarche Fil-AE

Filière Aéronautique Electrique



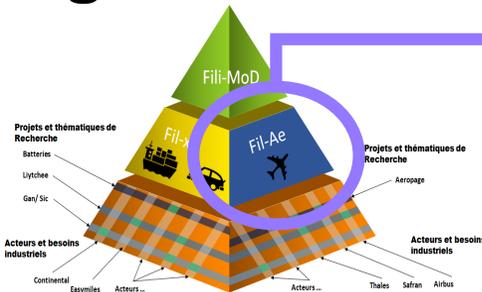
Notre vision de la structuration inter-filières : Fili-MoD.



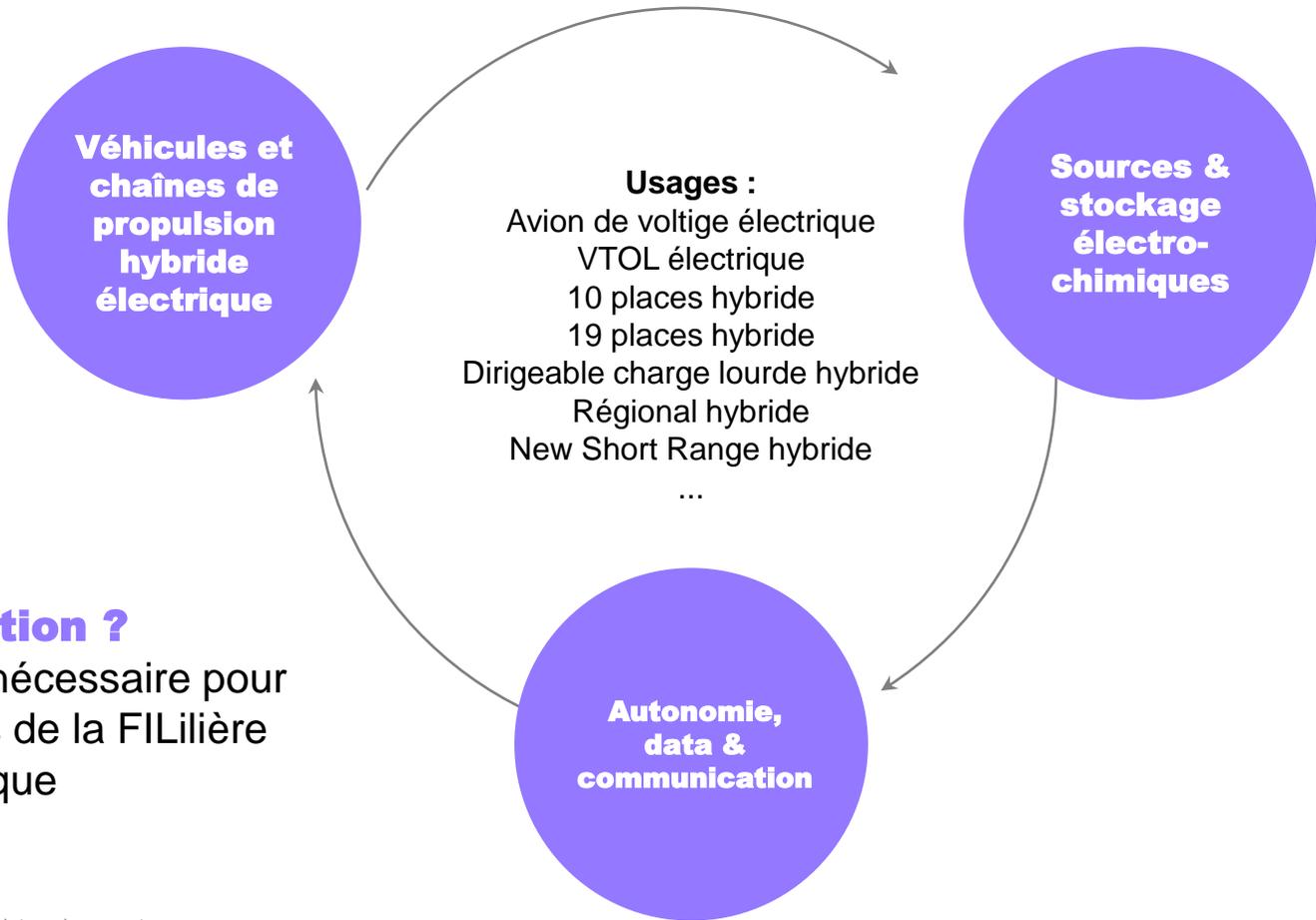
Objectifs de la démarche :

- Synchroniser les filières pour un enjeu commun
- Accélérer la recherche avec des thématiques transverses
- Optimiser l'utilisation des moyens et des compétences : Moins de recouvrements / Plus de visibilité

Enjeu de FIL-AE : Organiser l'écosystème pour adresser les usages de demain.



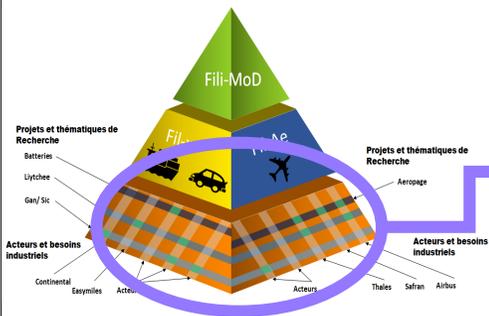
FIL-AE : filière aéronautique électrique basé sur trois piliers



Quelle est l'intention ?

→ Définir ce qui est nécessaire pour permettre les usages de la FILilière Aéronautique Electrique

Exemples de projets inter-filières.



Plusieurs projets adressent d'autres filières que l'aéronautique et le spatial

Activités	Projets	Date	Budget	Aéro	Auto	Train	Objectifs
Energie haute densité	Double & Bump	2014-2018	1,3 M€		X		Compréhension, développement et vérification de modules de puissance en 3D pour réduire le volume & doubler la densité de puissance de la chaîne électro-mécanique
	E-power drive	2017-2021	8,1 M€	X	X		Etude de la CEM, des méthodes d'optimisation multi-contraintes, des différents composants de la chaîne électro-mécanique afin d'optimiser la densité de puissance, le rendement et le coût de fabrication.
Energie haute fiabilité	Feline	2017-2021	6,3 M€	X	X		Evaluation de la fiabilité de composants et de cartes électroniques
	Sp ² rint	2018-2020	1,3 M€	X	X		Développement des matériaux d'assemblages de composants électroniques sur circuits imprimés
	Sicret	2020-2023	4,5 M€	X	X	X	Evaluation de la fiabilité de transistors de puissance SiC pour le transport
	Ganret	2021-2025	4 M€	X	X	X	Evaluation de la fiabilité de transistors de puissance GaN pour le transport
Energie haute tension	Highvolt	2017-2021	10 M€	X	X	X	Accompagnement à la montée en tension / fronts de tension dans les systèmes embarqués par l'étude des phénomènes physiques associés, leurs conséquences et les solutions envisagées
	Highvolt 2	2021-2025	7,8 M€	X	X	X	

Cartographie des initiatives existantes.

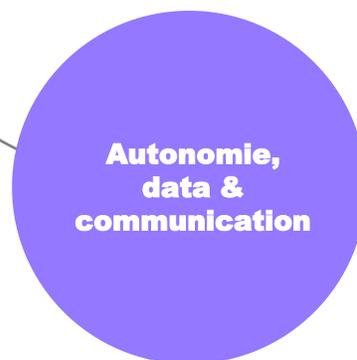
- DGA-TA (moyens existants)
- DAHER EcoPulse
- CS2 – LPA – Concept DRAGON (ONERA)
- H2020 IMOTHEP (coord. ONERA)
- Cleansky II HASTECS (coord. LAPLACE)
- DGAC PHYCIEL (ONERA)



Académiques, collectivités, organismes de recherche & acteurs industriels



- Banc H2 INP (Labège)
- ➔ Llitichy (Laplace, Francazal)
- Hyport (Blagnac et Tarbes)
- Train H2 Région
- Plan H2 national
- Plateforme MOSAHyC



- ANITI
- Vilagil
- Occitanie Data

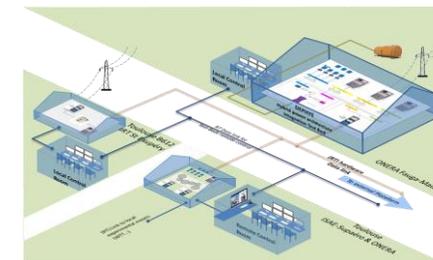


- Dispositif de plan de sauvegarde de l'emploi (80 %)
- Mobilité AÉrienne Légère et Environnementalement responsable (Aerospace Valley)

L'approche FIL-AE : Du programme scientifique aux moyens.



Capability List	PEGS	IMW CRC	NEAT	HEIST
Max Power Level	3kW	1MW	24MW	200kW
Components Tested	Scaled Electric Grid	Cryo Motor, Drives	Flight-Weight Powertrain	Wing Integration, Flight Controls
TRL Demo	3	4	6	7
Aircraft Size	NA	NA	150 PAX	2 PAX
Cryogenic	No	500 gal. LH2	3000 gal. LH2, LN, LNG	No
Chiller	No	No	Yes	No
HVAC	No	No	Yes	No
Aerodynamic Loading	No	No	No	Yes
Thermal Control	No	Yes	Yes	Yes
Atmospheric Pressure	No	No	No	No
TLC Operation	YES	NA	Yes	Yes



Programme scientifique

Listing des thématiques R&D

Identification des verrous technologiques & méthodologiques

Priorisation des sujets

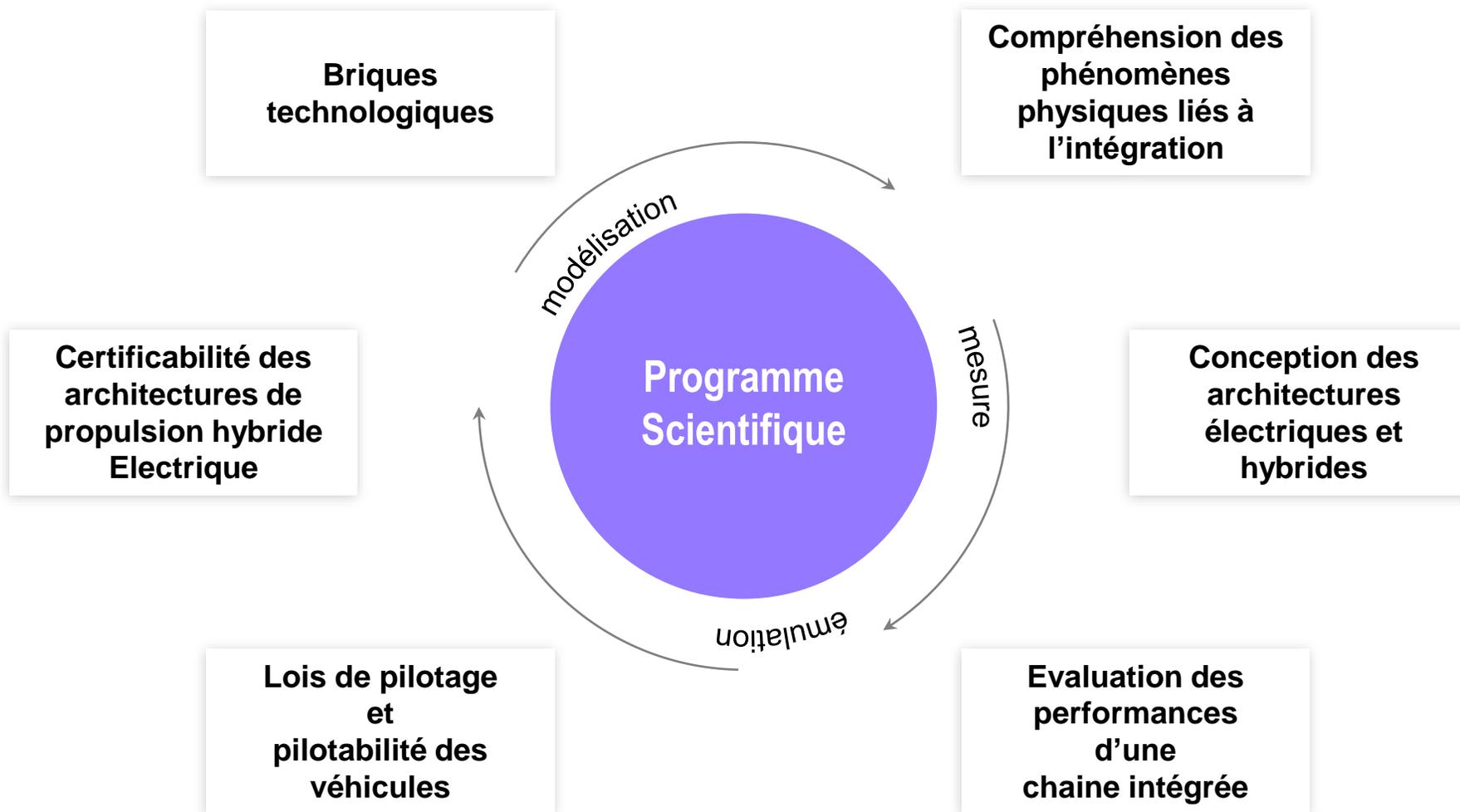
Déclinaisons en programmes de recherche & cartographie des ressources

Benchmark technologiques

Solution sol et bord

Mise en place de moyens d'expérimentation communs

Programme scientifique.



Retombées attendues.



Scientifiques

- Modélisation des phénomènes physiques liés aux équipements électriques et aux effets d'installation
- Caractérisation physique et fonctionnelle des équipements et architectures
- Connaissance du comportement des architectures électriques en environnement représentatif
- Management de l'énergie en lien avec le pilotage des aéronefs en opération
- Gestion des défaillances et certificabilité



Techniques

- Acquisition de modèles pour la simulation multiphysique et multidisciplinaire
- Disponibilité d'une plateforme de test pour intégration d'ensemble en environnement représentatif
- Couplage fonctionnel de bancs distants
- Aide à la spécification de composants & sous-systèmes



Sociétales

- Contribution au développement et à la maturation de solutions de propulsion à émissions réduites
- Contribution à la structuration d'un pôle de recherche d'ampleur nationale sur les architectures de propulsion électrique
- Contribution à la conversion des métiers vers l'électrique



Economiques

- Soutien à la filière par la maîtrise des défis scientifiques et l'accompagnement des industriels
- Soutien aux PME et TPE du domaine
- Renforcement de la supply chain
- Formation dans des domaines nouveaux aux frontières de plusieurs disciplines
- Rayonnement national et international



Merci pour votre attention.