



FLASHEZ CE QR CODE POUR CONTINUER

« Propose a specific and concrete project with an associated business case that you hope will disrupt the aerospace industry by 2040 »

INTRODUCTION

Il y a moins d'un an, la France adoptait la « loi climat » [1] bannissant les vols intérieurs courts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Aujourd'hui, nous affirmons que d'ici à 2040, l'aéronautique relèvera le défi de la **décarbonation** en misant d'abord sur le **transport régional** et ses **nouveaux usages**. Pour décarboner le secteur, quatre axes sont habituellement identifiés [2] : développement de nouvelles technologies, amélioration de l'efficacité des opérations et infrastructures, déploiement de carburants durables (SAF), et mesures basées sur le marché. Les nouvelles technologies décarbonées, notamment les systèmes de propulsion innovants, présentent cependant d'importantes limitations en autonomie et capacité. Les avions électriques, bien qu'éliminant les émissions de CO₂, nécessitent des batteries avec une densité d'énergie sept fois supérieure pour être viables. Les avions hybrides-électriques, combinant moteurs à combustion et batteries, s'imposent comme le **premier pas** vers une propulsion 100% électrique. L'hydrogène, quant à lui, offre une autre option pour produire de l'électricité, mais son volume, même sous forme liquide, nécessite des réservoirs plus grands et des modifications structurelles majeures des appareils. Ainsi, la décarbonation commencera résolument par **l'aviation légère**, qui, grâce à des processus de **certification** simplifiés et un accès facilité aux petites **infrastructures**, permet de réduire significativement les coûts de **développement**. Cette aviation régionale décarbonée offre également l'opportunité de **désenclaver** et **dynamiser** les territoires. Si cette perspective se concrétise en une demande de ces territoires, une partie importante du secteur aéronautique pourra alors se réorganiser et accélérer sa décarbonation en **mettant à l'échelle** ce premier cas d'usage.

Avec ce dossier, notre ambition est de démontrer la viabilité du business case de l'exploitation d'avions décarbonés dans un cadre régional, et de montrer comment la duplication de ce modèle peut conduire à une disruption globale du secteur d'ici 2040.

La décarbonation du secteur aérien étant un problème **systemique**, il convient d'y apporter une réponse **pluridisciplinaire**. Cependant, par soucis de réalisme, dans les contraintes de temps de l'exercice, nous nous mettrons ici dans la peau d'une compagnie aérienne commerciale régionale souhaitant exploiter des avions décarbonés d'ici 2040. Cette focale, nous permettra – tout au long du dossier – d'impliquer toutes les **parties prenantes** de la décarbonation du secteur aérien. Nous prendrons le parti que cette compagnie aérienne opérera des avions hybrides-électriques de 19 places, avec une autonomie inférieure à 1h30. En effet, le rapport technique Waypoint 2050 [3] prévoit qu'en 2040, les petits avions short range adopteront une propulsion hybride-électrique (batteries ou piles à combustible) déployable plus rapidement, tandis que l'hydrogène sera utilisé en complément du SAF pour les avions de plus de 100 places.

Aussi, nous ferons le choix de mener cette étude en **France métropolitaine**, territoire affranchi de contraintes topologiques. Contraintes qui impliquent généralement, de fait, un usage de l'avion pour les déplacements, par exemple, insulaires. L'idée est de démontrer qu'un usage basé sur un **besoin de mobilité** affranchi de toutes contraintes naturelles est également possible. C'est la condition de création d'un marché **réplicable et exportable**; deux aspects nécessaires à une transition générale – nous verrons comment – du secteur aéronautique. Enfin, dans la suite du dossier le terme "régional" qualifiera une compagnie entrant dans ce périmètre : un avion de **19 places à courte portée** (250NM max), opérant sur route continentale.

NOTRE MÉTHODE

Pour ancrer notre étude dans le réel et **plonger nos lecteurs** au cœur des enjeux de l'aviation régionale décarbonée, nous avons décidé de baser notre méthodologie sur trois piliers. Dans un premier temps, nous avons mené un travail de recherche littéraire afin de **comprendre en profondeur** le monde singulier de l'aérien régional. Dans un second temps, nous avons décidé de nous immerger totalement dans ce secteur et d'aller à la rencontre de **celles et ceux** qui font l'aviation régionale d'aujourd'hui et qui pensent celle de demain. Sur les 3 derniers mois, nous avons pu présenter notre projet à **31 experts** issus d'une multitude de disciplines : avionneurs, énergéticiens, collectivités, régions, organismes de certification et de régulation, directeurs d'aéroports, chercheurs, investisseurs, leasers, ingénieurs, passagers, pétroliers, sénateurs, compagnies aériennes, pilotes ou encore ambassadeurs. Ces collaborations nous ont permis de cerner les **besoins** et les conditions nécessaires à la genèse d'une **demande**, en plus de nous aider à penser de nouveaux mécanismes de **rentabilité** pour notre **business case**. Puis, pour pousser plus loin ce travail de terrain, nous avons décidé de faire se rencontrer ces acteurs et de provoquer le débat sur l'avenir de l'aviation régionale décarbonée. C'est ainsi que nous avons décidé d'organiser un **événement** (cf. page 6) ayant réuni **19 professionnels**, événement qui allait devenir la clé de voûte de notre méthodologie. En effet, ce travail d'**intelligence collective** nous a permis d'identifier avec précision les paramètres influant sur la rentabilité d'un usage régional de l'avion. De là nous avons, dans un troisième et dernier temps, pu produire nos propres **scénarios** (reposant sur nos propres programmes et outils), nous ayant permis d'identifier les **facteurs clés** de succès relatifs à notre projet. Ce triple travail, rend alors possible la formulation d'un **business case** et d'un **plan d'action** visant à disrupter, par le régional, l'ensemble du secteur aéronautique.

SOMMAIRE

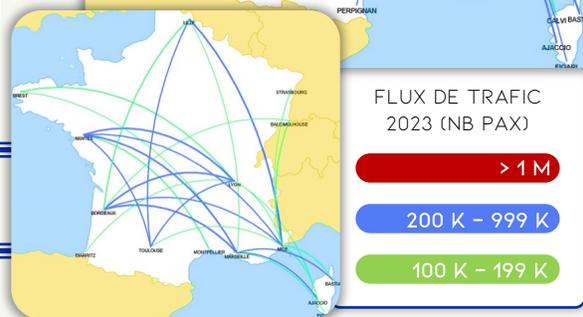
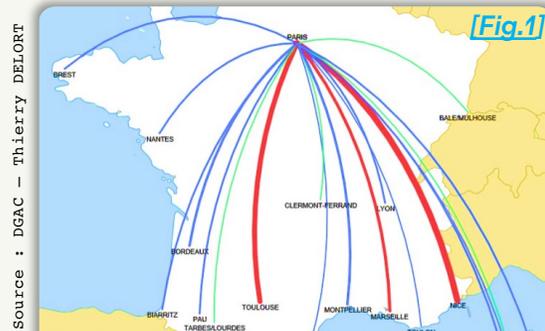
- 02 Étude du **besoin** de transport régional en France Métropolitaine
- 04 Étude des conditions nécessaires à l'émergence d'une **demande**
- 05 Réimaginer le **parcours utilisateur** de 2040
- 06 Exploration des **modèles de rentabilité** envisageables d'ici 2040
- 09 Présentation de notre **Business Case** concret
- 10 Présentation du plan de **mise à l'échelle** et conclusion

Pour cerner les besoins de mobilité intérieure, nous analysons ici les flux de passagers aériens mais aussi ceux des usagers que l'avion n'a pas encore captés : les flux ferroviaires et routiers

LES FLUX AÉRIENS EN MÉTROPOLE



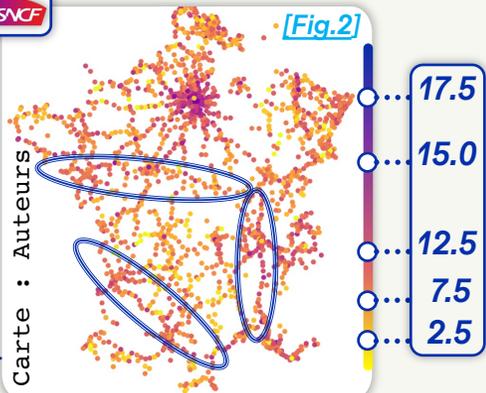
D'abord, nous souhaitons **définir** les différentes routes aériennes intérieures, et analyser la croissance potentielle de leurs fréquentations. Nous nous sommes donc rendus le 9 juillet dernier à la **DGAC**. Selon leurs données [4], le **trafic radial** (liaison Paris – Régions) est resté stable entre 2000 et 2023 : entre 15 et 20 millions PAX. En 2023, il en concernait 12,25 millions. Le **trafic transversal** (liaison Régions – Régions), a, quant à lui, doublé depuis l'année 2000, pour atteindre 8,98 millions en 2023. Nous constatons alors que les flux aériens transversaux s'intensifient, bien que dominés par le radial. Nous pouvons à ce stade conjecturer l'émergence – latente – d'un **marché substantiel** du transport aérien intérieur, voire même d'un marché du transport transversal, pour **connecter les territoires** entre eux et aux hubs internationaux. Confirmons cette hypothèse en s'intéressant maintenant aux usagers n'utilisant pas encore l'aérien pour leurs mobilités intérieures.



LES FLUX FERROVIAIRES EN MÉTROPOLE



Pour ce faire, nous avons traité les **données publiques brutes SNCF**. Le bilan est analogue au précédent [5] : le flux radial domine et le transversal est en forte croissance. En effet, les **liaisons radiales**, représentées à 85% par les lignes à Grandes Vitesses, accueillent 122 millions d'usagers en 2023 : une augmentation de **+4%** par rapport à 2022. Le **trafic transversal** a connu lui aussi une croissance notable de **+8%** entre 2022 et 2023. D'ailleurs, certaines lignes transversales se distinguent par leur fréquentation comparable aux lignes radiales (cf. carte). Il s'agit maintenant d'étudier plus en détail ces **flux transversaux**.



11M Passagers Intercités / an

+5% (2022-2023)

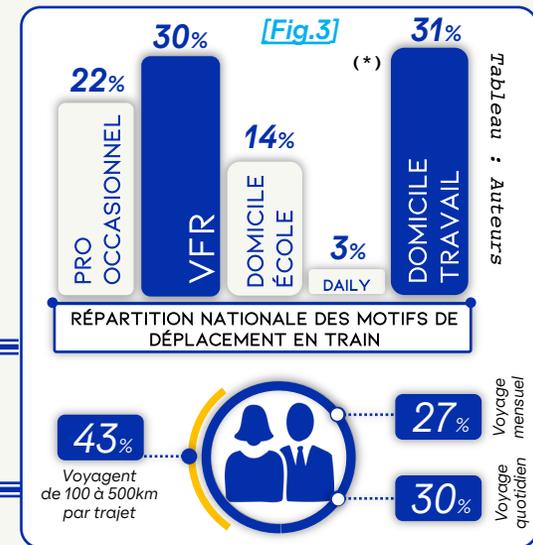
+40% Passagers TER (2020-2024)

ZOOM : NOTRE INVESTIGATION SUR LE TRANSVERSAL

Pour s'ancrer dans la réalité, nous avons analysé 90 liaisons sur le site **BlaBlaCar** [6] entre 10 villes de « petite taille » (10K-100K hab.) entre elles (CAS1) et 10 villes de « taille moyenne » (100K-1M hab.) entre elles (CAS2). L'étude du CAS1 nous indique que, pour une liaison donnée, 3.75 trajets sont proposés en moyenne et qu'un trajet sur deux est complet. Ainsi, pour un trajet routier transversal **entre petites villes**, bien que la demande soit relativement faible, **l'offre semble trop limitée** pour y répondre. Dans le CAS2, pour une liaison donnée, c'est 25.4 trajets qui sont proposés en moyenne et 15% des trajets sont complets. Ici, pour des trajets routiers transversaux **inter-métropoles**, la **demande paraît élevée** et bien satisfaite par l'offre. Cette étude de covoiturage révèle alors **l'inhomogénéité du besoin** de transport transversal et de l'offre associée. Dressons maintenant les **profils types** des usagers manifestant un besoin de mobilité régionale.

CARACTÉRISATION DE PERSONAE

Dans la littérature relative au transport aérien, la description des typologies d'usagers se concentre quasi exclusivement sur les trajets métropole-international. Ainsi, nous avons entrepris de **caractériser nous-mêmes les personae** pour les trajets intérieurs (transversaux et radiaux) en traitant les données existantes de la SNCF [7]. Deux typologies majoritaires se distinguent : **l'usager professionnel** voyageant quotidiennement pour des trajets court (*moins de 25 km*), et **l'usager VFR**, se déplaçant en train moins d'une fois par mois pour des trajets plus longs (*plus de 100km*). Notons qu'il serait imprécis de considérer qu'extrapoler cette analyse du voyageur SNCF suffirait à dessiner le persona général de l'usager en liaisons intérieures. Cependant, cette étude nous permet assurément d'avoir une **première idée des usagers types** à adresser pour notre **business case**.



NOTRE CONCLUSION SUR LE BESOIN PAX

Nous observons un **besoin de mobilité régionale** défini par une domination des **routes radiales**, et un marché du **transversal émergent**. Nous le verrons, l'aérien peut, sous certaines conditions, **pénétrer** ce marché radial et même **lancer** un nouveau marché du transport transversal de proximité.

Professionnel rencontré le 03.07.2024

RÉACTION D'UN PROFESSIONNEL : T.BALDIVIA - COFOUNDER



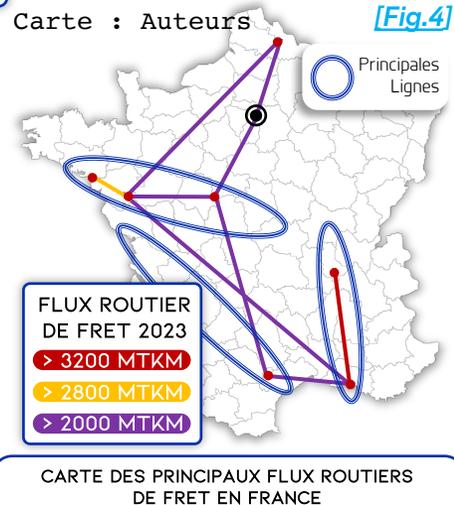
«Les lignes de trains à Grande Vitesse ne desservent que 15% de liaisons non-radiales. Il y a une nécessité de développer des liaisons aériennes sur ces routes transversales.»

De la même manière, caractérisons le besoin de transport intérieur de fret et le besoin général de mobilité des territoires en France

LES FLUX ROUTIERS DE FRET EN MÉTROPOLE

Pour **quantifier et caractériser** les flux intérieurs de fret dans lesquels l'avion pourrait s'insérer, nous pouvons commencer par nous concentrer sur le **transport routier de marchandises** (TRM). En effet, à lui seul, le transport routier pèse pour plus de 80% des flux intérieurs de fret. En 2022, il représentait 168 Mds de tonnes-km (TKM) sous pavillon français [8], contre seulement **0.04 Mds de tonnes-km pour l'aérien** l'année suivante [9]. Selon les données gouvernementales, le trafic routier a connu une croissance assez lente de +6% entre 2014 et 2022. Notons que ce sont les routes transversales qui sont les plus fréquentées, avec des liaisons marquantes comme Lyon-Marseille (+3200 MTKM), ou la connexion entre le Pays-de-la-Loire et la Bretagne (+2800 MTKM) (cf. carte). [10]

Continuons l'étude en analysant avec quel **type de fret** l'avion peut concurrencer le transport intérieur de fret routier.



L'aviation, rapide et peu sensible aux contraintes topologiques s'avère compétitive pour le transport de certains types de fret. En témoigne l'entreprise MAERSK qui investit pour développer ses activités de transport de fret aérien pour effectuer des **livraisons urgentes**, notamment pour l'automobile [11]. L'aérien peut ainsi adresser, par exemple, cette **verticale 'produits industriels'** qui représente **9%** du fret intérieur routier. [12]

Pilote rencontré le 12.04.2024 à l'aéroport de Nantes Atlantique

L'AVIS D'UN PILOTE - S. BARBEY - COMMANDANT DE BORD ATR



«Pour l'avoir vécu pendant le COVID, l'avion était particulièrement utile pour le transport de produits très spécifiques à livrer rapidement entre les territoires.»

NOTRE ANALYSE DU BESOIN FRET

Les flux intérieurs de **fret** en France sont majoritairement **dominés par les routes transversales**. Sur ces trajets, l'avion se révèle particulièrement idoine pour le transport de marchandises à **haute valeur ajoutée** ayant une faible **élasticité-temps**. Pour exemple, en faisant l'hypothèse que l'aviation régionale soit privilégiée sur **1%** des produits industriels aujourd'hui transportés par routier, il s'agirait d'un marché non négligeable de 158MTKM (À noter que l'aérien transporte à date 40MTKM à l'intérieur du territoire, tous types de fret confondus).

Les **besoins** de transport de **PAX et de fret** sur les routes intérieures sont désormais caractérisés. Par ailleurs, les **collectivités locales** se trouvant au carrefour de ces flux, il convient maintenant d'examiner les besoins à l'échelle des territoires, où l'avion apparaît déjà comme une réponse à leurs **besoins de connectivité**.

Parlementaire rencontré le 26.06.2024 au Sénat

L'OPINION D'UN SÉNATEUR - P. MEDEVIELLE - HAUTE-GARONNE



«Il existe sur l'hexagone une réelle volonté des territoires de se désenclaver et de se connecter entre eux. Bien que cela soulève des questions d'aménagement des territoires et d'acceptabilité sociale, l'aérien est un vecteur de développement certain pour nos régions.»



L'AVIATION POUR RÉDUIRE LES DISPARITÉS TERRITORIALES

Selon les chercheurs Mukkala & Tervo [13], dans les régions « centres », c'est principalement la croissance économique qui attire le transport aérien. La croissance du trafic y est majoritairement induite. En revanche, dans les régions périphériques, le **transport aérien stimule directement l'activité économique**. Le trafic n'y est pas induit, mais il est moteur et porteur d'**externalités positives** pour l'**économie locale**. Ainsi, le sens de causalité est lié à la typologie des régions concernées. C'est dans cette logique que la France assume sa vision pour le transport aérien : un **vecteur de connectivité** des territoires. En témoigne le financement additionnel de 15 millions d'euros en autorisations d'engagement pour les lignes d'aménagement du territoire (LAT) [14] qui a été octroyé, tandis qu'une clarification des **responsabilités des collectivités** territoriales en matière de gestion des aérodromes et d'organisation des services de transport aérien a été apportée [15]. Pour illustrer, prenons l'**exemple de l'Occitanie** qui a d'ores et déjà pris des mesures en ce sens.



ZOOM : CONNECTER SES TERRITOIRES PAR L'AÉRIEN EN OCCITANIE

Depuis 2018, l'Occitanie a mis en place une **stratégie pour le transport aérien**, après avoir évalué l'impact économique des investissements publics dans ce secteur. Il a été estimé qu'un euro investi génère quatre euros de PIB. La stratégie régionale vise trois objectifs : l'**aménagement du territoire**, le **développement économique**, et l'ouverture internationale de la région. Pour renforcer la **compétitivité des aéroports régionaux**, la région soutient les aéroports de Toulouse et Montpellier et envisage de créer une gouvernance intégrée pour les aéroports de Perpignan, Carcassonne, et Tarbes-Lourdes. De plus, la région prévoit **d'entrer au capital** de tous les aéroports régionaux.

CONCLUSION GÉNÉRALE SUR L'ÉTUDE DU BESOIN

À ce stade, nous pouvons raisonnablement miser sur l'émergence d'un besoin de transport aériens de PAX sur les routes transversales et sur une croissance linéaire du besoin radial. Concernant le FRET, à l'exception de colis particulièrement adaptés au transport aérien, le besoin est aujourd'hui bien adressé par le camion, flexible et très probablement décarboné d'ici 2040 [16]. Dans la suite - sans négliger le FRET - nous supposons que c'est le **PAX** qui présente le **plus grand besoin de mobilité régionale** et la **plus belle opportunité de marché** pour opérer l'avion décarboné d'ici à 2040.

Décrivons maintenant les conditions nécessaires à la conversion de ce besoin PAX (et fret) en une réelle demande pour un transport aérien de proximité



Professionnel rencontré le 17.06.2024

LES MOTS D'UN PROFESSIONNEL : J. CAUSSADE - CEO

« Si les infrastructures sont adaptées et prêtes, alors la demande suivra naturellement. »



CONDITION 1 : AVOIR L'INFRASTRUCTURE DISPONIBLE

La présence d'**infrastructures aéroportuaires** est la première condition nécessaire à l'émergence d'une demande. Infrastructures qui sont, par ailleurs, **déjà existantes** : rien qu'en France métropolitaine, on ne trouve pas une piste à moins de 50km d'une autre [17]. Ce maillage d'aérodromes reste cependant, en immense majorité, **commerciallement inexploitable** pour un opérateur. Bien que ces aérodromes soient équipés de pistes courtes adaptées pour accueillir des avions légers, ils ne sont à date, pas encore équipés pour **opérer** et **alimenter** en **nouvelles énergies** nos futurs avions décarbonés. Nous verrons qu'équiper ces infrastructures sera l'opportunité d'opérer des avions décarbonés sur tout le territoire pour **connecter les régions** entre elles.



[Fig.5]

CONDITION 2 : AVOIR L'INFRASTRUCTURE ÉQUIPÉE

Pour favoriser l'émergence d'une demande, il faut rendre l'**opération réalisable**. Il est donc essentiel de disposer d'une **énergie disponible** localement, **abordable** et **durable** pour ces futurs avions. A ce titre, les aérodromes peuvent jouer un rôle pivot en se réinventant **hubs énergétiques**. L'idée est de produire de l'électricité verte sur site pour la recharge de véhicules terrestres et aériens hybrides-électriques, mais aussi, à terme, pour la production locale d'hydrogène vert. Mais pour lancer une telle initiative, il convient d'identifier un **premier cas d'usage adressable**. À ce sujet, nous avons donc rencontré **Guilhem Cuny** (chef de projet - hubs énergétiques & innovations **ENGIE**) le 01 juillet dernier. Résultat net : la **flotte captive** terrestre d'une commune semble être le candidat idéal. En effet, pour ses services publics (ramassage scolaire, collecte des déchets...), une **commune** emploie souvent une **flotte captive** - ensembles de véhicules professionnels dont le passage à des énergies neutres en émission carbone est difficile à mettre en place. Les aérodromes, souvent à cheval sur plusieurs communes, sont une opportunité pour une collectivité de **mutualiser** et **concentrer** ses investissements pour en faire une zone de recharge mutuelle qui permettrait à chaque commune de décarboner et d'opérer sa flotte à moindre coût. Adresser ces flottes terrestres permettra de créer un **effet de volume** et de **massifier les usages**. L'objectif : avoir une infrastructure prête avant le déploiement des premiers avions décarbonés. Pour illustrer cette transformation des infrastructures aéroportuaires, étudions le cas de l'aéroport **Auch-Gers** qui a pour ambition de devenir un hub énergétique au service de la mobilité décarbonée du territoire.



ZOOM : NOTRE VISION DE L'AÉROPORT RÉGIONAL AUCH GERS - FUTUR HUB ÉNERGÉTIQUE



[Fig.6] Schéma : AUTEURS

Transition énergétique

- Panneaux photovoltaïques (10MW)** x20 x200 x5
- Bornes de recharge électriques**
- Zone de production d'H2 Vert (électrolyseur-liquéfacteur-stockage)**

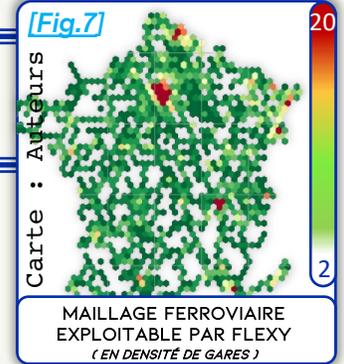
Diversification des usages

- Locaux Météo-France**
- Zones de formations (pompiers, pilotage, maintenance)**
- Zones d'essais prototypes** [18]

Cette transformation présente plusieurs avantages : une nouvelle **source de revenus** grâce à la capitalisation sur le foncier pour la production d'électricité, une production locale d'hydrogène qui résout les problèmes de stockage et de transport, la création d'une **expertise** sur la maintenance des technologies décarbonées, un **regain d'attractivité** de l'aéroport pour des activités de formation et d'essais en vol.

CONDITION 3 : AVOIR L'INFRASTRUCTURE RELIÉE

Une infrastructure aéroportuaire équipée n'a pas de valeur si elle n'est pas efficacement **reliée au reste du territoire**, en particulier aux points de départ et d'arrivée des PAX ou des biens transportés. Il est donc nécessaire que l'aéroport joue le rôle de **plate-forme multimodale**. À ce propos, compte tenu de l'alignement entre le maillage ferroviaire et aéroportuaire français, le projet FLEXY (SNCF) [19], se présente comme une solution réaliste pour le point à point, en particulier en campagne. FLEXY propose une navette électrique de 14 places capable de circuler **sur route et sur les rails** non-exploités (42% du réseau français). Avec ses 200km d'autonomie et ses 80km/h, elle offre une **alternative compétitive** aux autocars et voitures grâce à des trajets sans contraintes routières.



[Fig.7]

CONDITION NÉCESSAIRE À LA DEMANDE : NOTRE CONCLUSION

Des infrastructures aéroportuaires prêtes et bien reliées sont essentielles pour stimuler la demande, voire même, par la suite, **(r)assurer** - par ce premier usage - le développement d'une filière énergétique plus large.

Au-delà des conditions matérielles indispensables à l'émergence d'une demande de transport aérien régional, il est également nécessaire d'adapter le parcours utilisateur

RÉACTION D'UN PROFESSIONNEL : B.DAHAN - DIRECTEUR DÉLÉGUÉ AÉRONAUTIQUE

Professionnel rencontré le 12.04.2024



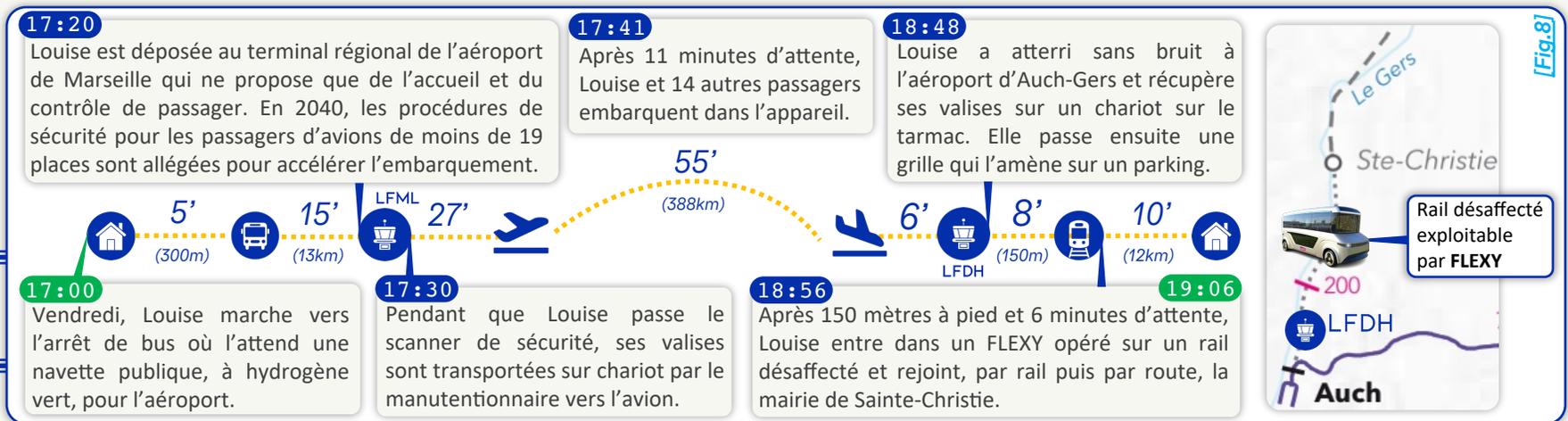
« Dans votre cas, il est essentiel de repenser le point à point. Ne pas se concentrer seulement sur le trajet de l'avion mais imaginer un service client complet du point de départ au point d'arrivée. »

POURQUOI ADAPTER LE PARCOURS UTILISATEUR CLASSIQUE À UN USAGE RÉGIONAL ?

Sur des trajets intérieurs, contrairement au cas du voyage à l'international, un PAX a beaucoup d'alternatives de transport. Ce genre de PAX risque d'être bien plus sensible au temps de voyage. En effet, sur un flux intérieur, le voyage en voiture et en train – qui permettent de réaliser du point à point – est solidement ancré dans les **mœurs** [20]. Le voyage en avion n'offrant pas de trajet direct, il faut donc, pour inciter au **report modal**, imaginer un parcours PAX amont et aval et s'assurer que le temps de trajet cumulé soit compétitif par rapport aux autres moyens de transports cités. Dans cette optique, nous imaginons ci-dessous le parcours d'un PAX typique en 2040.

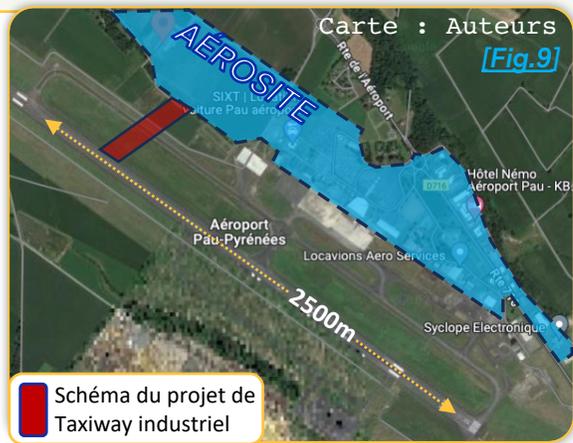
PARCOURS D'UN PAX EN 2040 : LOUISE

Louise est une habitante du village de Sainte-Christie dans le Gers, à quelques kilomètres de Auch. La semaine, elle travaille à Marseille en qualité de professeure émérite de médecine à la faculté. Du lundi au vendredi, Louise vit à Marseille, logée par la faculté dans un logement de fonction afin de pouvoir dispenser ses cours, mener ses travaux de recherche, et conduire ses conférences. Chaque week-end, Louise rentre auprès de sa famille, dans son village de Sainte-Christie. Grâce à l'aérien régional et à un parcours multimodal adapté, Louise peut rejoindre son village d'origine en un peu plus de 2h contre 5h et 6h, respectivement en voiture et en train, avec un impact très faible sur son empreinte carbone.



ZOOM : L'AÉRIEN RÉGIONAL AU SERVICE DES INDUSTRIELS

Nous croyons que l'aviation régionale peut aussi servir un usage d'échange de fret entre industriels inscrits au sein d'une même supply-chain. L'aviation de proximité peut – à condition d'être financée – en effet optimiser l'**efficacité opérationnelle** d'une entreprise et soulager toute une filière. Un avion régional permettrait, en effet, une liaison rapide et régulière de fret à haute valeur ajoutée entre différents **fournisseurs**, ou entre les différents sites d'un même industriel. Par exemple, ce nouvel outil serait opportun pour la filière de construction aéronautique, aujourd'hui en plein **ramp-up**. Par ailleurs, cette idée peut être mise en place à l'échelle d'une zone industrielle (Z.I). Pour illustrer, prenons l'exemple de la Z.I en couronne de l'aéroport Pau-Pyrénées. Ici, la **communauté d'agglomération** finance, en ce moment même, un taxiway [21] reliant directement la piste aux entrepôts des entreprises de la zone 'Aérosite' voisine pour inciter celles-ci à faire usage de l'aéroport de Pau et de l'aérien pour leur transport de fret. Cette initiative, permettant le transport point à point de fret industriel, ouvre l'opportunité pour tous les fournisseurs de la Z.I de **mutualiser leurs coûts** de transport en plus de pouvoir s'aligner sur leur politique **RSE**.



TRANSITION VERS NOTRE BUSINESS CASE

À ce stade nous avons démontré qu'il existait un **besoin réel** de mobilité régionale en France et vu les conditions nécessaires à la conversion de ce besoin en une **demande de transport aérien**. Ce faisant, l'aérien peut offrir une réponse reposant sur un nouvel usage et faire émerger un nouveau marché d'ici 2040. Nous pouvons, désormais, nous placer en 2040 et confronter cette réponse au réel, en analysant les **leviers de rentabilité** d'une compagnie aérienne régionale opérant une flotte d'avions décarbonés de 19 places. Cela nous permettra de déployer un **plan d'attaque** pour rendre viable une telle mise en opération, décrite au sein de notre **business case**. Après cela, nous élaborerons un plan de **mise à l'échelle** visant à étendre la décarbonation plus largement, disruptant l'ensemble du secteur aéronautique.

Description générale de notre méthodologie permettant à un opérateur d'avions régionaux décarbonés de déployer un modèle d'affaires viable d'ici à 2040

IMAGINER LA STRUCTURE DE COÛTS ET DE REVENUS...

Pour établir un modèle de rentabilité, nous choisissons les métriques décrites par **E. Combe** et **P. Chiambaretto** dans "*Le transport aérien*". Nous avons donc sélectionné une quinzaine de paramètres (*sources de coûts, de revenus et paramètres physiques clés*) influant directement sur la rentabilité d'un opérateur d'avions décarbonés en 2040. De là, nous souhaitons déterminer les principaux sous-paramètres **sociologiques**, **économiques** et **techniques** pouvant influencer cette quinzaine de paramètres. Alors, nous avons rencontré une série d'experts sectoriels : politiques, industriels, chercheurs, financiers, individuellement. Néanmoins, ce problème systémique nécessitait un vrai dialogue entre ces diverses disciplines.

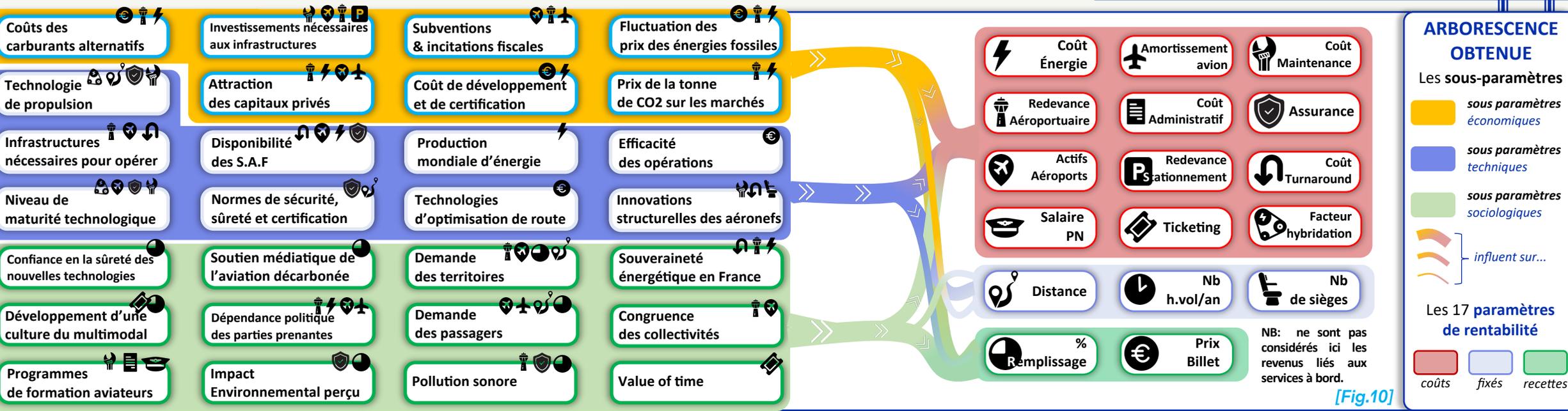


Photo : Auteurs

Notre déjeuner-travail : Imaginer l'aviation régionale de 2040

...EN RASSEMBLANT TOUTES LES DISCIPLINES

Nous avons donc organisé, un **événement** inédit le **12 juillet 2024** afin de les réunir et de **travailler ensemble** à anticiper l'opération de l'aviation régionale de demain. Sont ressortis des débats environ **30 sous-paramètres** sociologiques, technologiques et économiques à considérer. *Étaient présents : Bruno Dahan, Florent Querol, Nicolas Granier, Stéphane Chatty, Damien Notin, Stéphane Barbey, Laurent Joly, Eric Baldassari, Thomas Planes, Tarek Ben Omrane, Quentin Barascud, Christian Gogu, Joseph Risson, Frédéric Panchout, S. Juaneda, P. Bailey, C. Benaroya...*



[Fig.10]

Les sous-paramètres étant désormais associés aux **paramètres de rentabilité**, nous définirons plusieurs scénarios, en partant d'un scénario 0 témoin. Chaque scénario ajuste les **sous-paramètres**, ce qui impactera la rentabilité. La méthode est la suivante : pour chacun des **paramètres de rentabilité**, l'arborescence nous renseigne sur les **sous-paramètres** socio/techno/eco associés. Par exemple, si l'aspect technologique est favorable, le **paramètre** est augmenté de +15% par rapport au scénario 0, sinon diminué de -15%, idem pour les aspects socio/eco. Ainsi, un **paramètre de rentabilité** peut varier de -45% à +45%. À noter qu'une valeur de ±15% n'est appliquée que si au moins deux **sous-paramètres** de l'aspect concerné (socio/techno/eco) influencent directement le **paramètre de rentabilité**. L'analyse de ces scénarios permettra de discerner les facteurs clés de succès pour notre opérateur.

Définition et analyse de différents scénarios permettant d'identifier les facteurs clés de succès pour un opérateur d'avions régionaux décarbonés en 2040

SCÉNARIO TÉMOIN N°0

Comme mentionné précédemment, pour étudier les modèles de rentabilité d'ici 2040, nous nous concentrerons d'abord sur une compagnie aérienne transportant des passagers, sans exclure le fret par la suite. Nous supposons que la compagnie opère un avion hybride-électrique de 19 places, certifié mono-pilote, amorti sur 20 ans, effectuant des trajets d'environ 1 heure à 250 nœuds, avec 2000 heures de vol par an. Pour attribuer les paramètres de rentabilité, nous nous appuyerons au maximum sur les **données prédites** par les constructeurs d'avions hybrides-électriques, et pour le reste, sur les valeurs du Beechcraft 1900D, un **avion comparable**.

Valeurs des différents paramètres



(*) **Détail du choix des variables de calcul du coût de l'énergie par km** : consommation d'énergie thermique = 1.08 L/km (Cf Beechcraft 1900D [22]), coût d'énergie thermique (SAF) = 1.22 €/L [23], consommation d'énergie électrique = 4.32kWh/km (Puissance totale Moteur ERA : 2 MW [24], distance de 463 km sur 1h de vol), coût de l'énergie électrique = 0.034€/kWh [25], facteur d'hybridation : 60% (entre 1 et 15% prévu pour des avions à + de 100 sièges, mais les prévisions sont bien plus élevées sur de l'avion short range/léger)

(**) **Point sur le calcul du coût de maintenance et en énergie** : les constructeurs d'avions hybrides-électriques prévoient raisonnablement des réductions de coûts en énergie et en maintenance de 50% relativement aux avions bi-turbopropulseurs de même catégorie. [26]

SCÉNARIO N°1

En ce 2040 là, la croissance technologique est restée linéaire. Les **investissements** privés et publics sont restés trop **frileux** pour provoquer une réduction substantielle des coûts mais furent suffisants pour permettre d'opérer l'avion décarboné avec des infrastructures bien équipées. Ici, prendre l'avion pour des vols intérieurs est devenu un **usage commun** et habituel pour la majorité de la population.

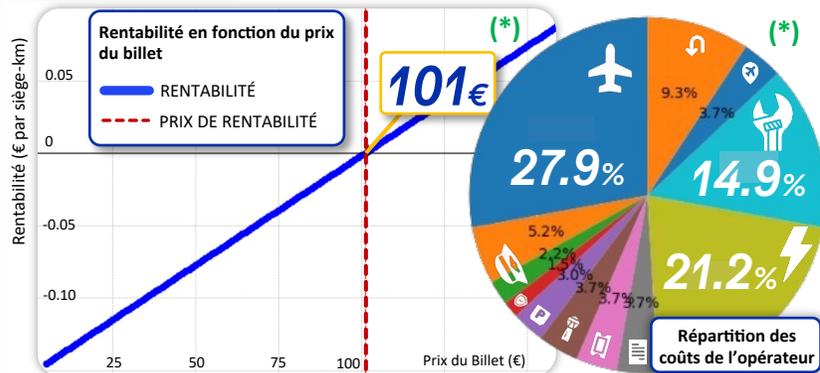


SCÉNARIO N°2

En ce 2040 ci, l'amélioration technologique est prioritaire. Des **investissements massifs** privés et publics ont permis d'équiper les infrastructures et de démocratiser l'accès à différents types de véhicules décarbonés. La politique européenne rend l'électron vert disponible et abordable. Cependant, prendre **l'avion devient intolérable** pour une part croissante de la population.



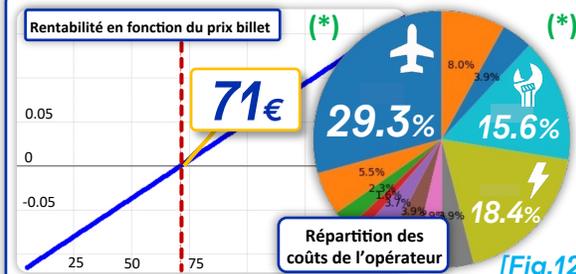
NOS RÉSULTATS



[Fig.11]

Nos remarques : Les coûts habituels d'une compagnie sont bien présents, mais en proportions différentes en raison du choix de l'appareil hybride-électrique. Par exemple, les coûts énergétiques sont réduits (21% contre 30% habituellement) grâce à l'efficacité des avions hybrides. En revanche, les coûts de maintenance sont plus élevés (15% contre moins de 12% habituellement), principalement en raison du nombre élevé de rotations journalières.

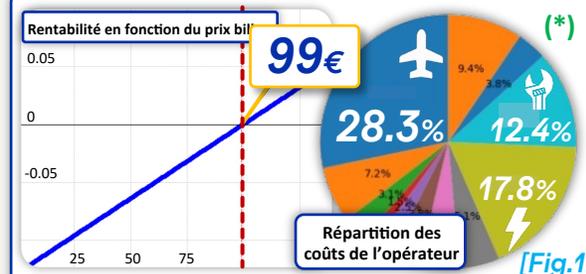
(*) Figures & programme Python : AUTEURS



[Fig.12]

CASK : 0.12€ /siège.km

Notre analyse : Ici, bien que les coûts aient assez peu baissés et qu'ils aient la même répartition que le scénario témoin, le potentiel de revenus a drastiquement augmenté grâce à une acceptabilité sociale forte. La rentabilité en est impactée positivement (-29% sur le seuil de rentabilité).



[Fig.13]

CASK : 0.13€ /siège.km

Notre analyse : Les coûts baissent et se répartissent de manière analogue, mais la perte de potentiel de revenus, provoquée par un manque d'acceptabilité sociale, est élevée. Seuls, les investissements massifs n'impactent que faiblement positivement la rentabilité (-2% sur le seuil de rentabilité).

L'analyse des scénarios nous permet de déterminer les facteurs clés pour une rentabilité durable en 2040. Il restera alors à déterminer par quels mécanismes y transiter

LES FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS IDENTIFIÉS

En se basant sur le travail précédent, on comprend que, la structure de coûts variant peu d'un scénario à l'autre, c'est la **recette** qui a l'impact **le plus significatif** sur la rentabilité d'un opérateur sur du régional. Sachant qu'à prix du billet fixe, seul le **taux de remplissage** agit sur la recette (cf. arborescence), cherchons alors quels **sous-paramètres** agissent sur ce facteur de remplissage. Nommément (cf. arborescence) : la confiance en la sûreté des nouvelles technologies, le développement d'une culture du multimodal, le soutien médiatique de l'aviation décarbonée, la demande des territoires ou des passagers, la réduction des nuisances sonores et la reconnaissance par la population des efforts de décarbonation du secteur aérien. **Discutons ce résultat** : À première vue, on pourrait penser que les paramètres techno/socio/éco influencent la rentabilité de manière équivalente. Bien que la rentabilité suive une **relation linéaire** simple avec le prix du billet, influencée par le taux de remplissage et les coûts, il n'était en réalité **pas évident** de déterminer quel facteur influencerait le plus efficacement le seuil de rentabilité. Notre étude révèle alors que ce sont les paramètres sociologiques qui ont l'impact le plus significatif. Malgré des améliorations techniques et économiques, les coûts ne peuvent être réduits indéfiniment en raison des limites imposées par la capacité et la portée des avions utilisés. Pour compenser sans augmenter les tarifs pour l'usager, il est crucial d'assurer un taux de remplissage optimal, et de se concentrer, donc, sur l'**acceptabilité sociale** du transport aérien régional.

ZOOM : NOTRE OUTIL DE CRÉATION DE SCÉNARIOS

Dans cette démarche, nous avons **créé un outil** et une **interface interactive** pour vous permettre d'imaginer et de matérialiser n'importe quel scénario. **Tentez l'expérience via ce lien** : <https://promether.fr/calcul-rentabilite/>



QUELS MÉCANISMES TRANSITOIRES DE RENTABILITÉ ?

Pour nos calculs de rentabilité, nous sommes partis d'une hypothèse forte : supposer une fréquence de **2000h de vol par an** pour une telle compagnie de transport d'usagers (par exemple pour une compagnie opérant un Beechcraft1900D 1000h/an comme TwinJet, notre modèle prédit un seuil de rentabilité à 325€ par billet). Afin d'anticiper la période précédant un tel volume opérationnel, nous avons étudié et repensé plusieurs **mécanismes transitoires** de rentabilité. De tels mécanismes accompagneront les compagnies dans la mise en opération de leurs avions régionaux décarbonés, tout en contribuant à respecter la **supportabilité du prix** pour l'usager. De plus, ces mécanismes peuvent permettre aux compagnies naissantes de s'aligner avec les exigences de **résilience financière** [27].

MÉCANISME 1

Pour soutenir des services aériens essentiels au développement régional, un État membre de l'UE peut instaurer une **Obligation de Service Public** (OSP) [28]. Il existe deux types d'OSP : l'OSP ouverte, accessible à toutes les compagnies sans exclusivité ni compensation, sous certaines conditions ; et l'OSP restreinte, où l'État, par appel d'offres, garantit une route à une seule compagnie, **compensant ses pertes** si aucune autre n'est intéressée.



RECOMMANDATION D'A.TOULEMONT – HO SUSTAINABILITY

Ajouter un **critère d'éligibilité** au cahier des charges des OSP favorisant les compagnies opérant des appareils émettant moins de **55%** de CO2 comparativement aux flottes actuelles, incitant les opérateurs à se placer sur le marché du régional décarboné.

MÉCANISME 2

Il existe aujourd'hui un marché du quota Carbone calqué sur l'EU-ETS propre à l'aérien : **CORSIA** [29]. Cependant, ce mécanisme basé sur le marché ne couvre ni les vols domestiques, ni la **CS-23**.

NOTRE RECOMMANDATION

Adapter le template CORSIA aux vols domestiques, pour permettre aux opérateurs de capter de la valeur sur la tonne de CO2 évitée en émettant des **certificats d'émission**.

MÉCANISME 3

Participant à l'entretien des infrastructures, les redevances aéroportuaires sont aujourd'hui majoritairement indexées au **prorata de la masse** des appareils.

RECOMMANDATION DE D.BIDOU – DIRECTEUR DE L'AÉROPORT AUCH-GERS

« Indexer ces redevances sur les volumes d'émissions des appareils afin d'alléger la structure de coûts des opérateurs les plus sobres est un choix qui va dans le sens de l'histoire. »



MÉCANISME 4

Il existe, pour l'achat d'un véhicule électrique, une exemption de taxe à l'achat ayant permis et favorisant encore la **pénétration** des véhicules électriques sur le marché automobile.

NOTRE RECOMMANDATION

Le marché de l'aérien étant moins dense, nous pouvons imaginer une **exemption de taxes**, pas à l'achat, mais sur le coût de l'électricité utilisée pour recharger les appareils.

MÉCANISME 5

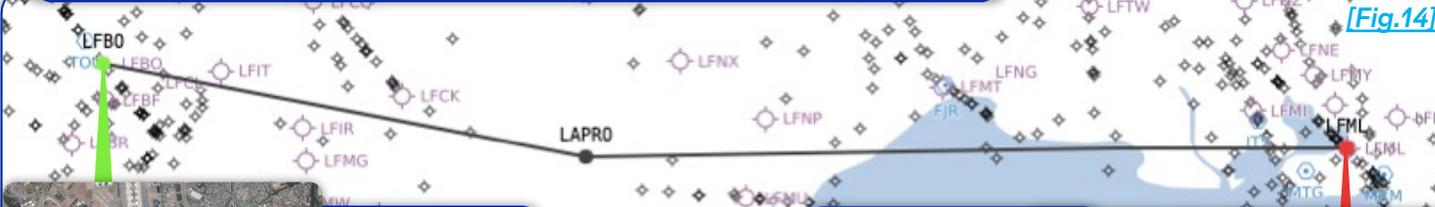
Certaines compagnies aériennes, comme AIRCORSICA avec AIRBUS [30], établissent des partenariats pour transporter employés ou fret entre sites, offrant ainsi une efficacité opérationnelle pour l'industriel et une ligne de revenu stable pour l'opérateur. Cela permet de **minimiser les risques** liés au renouvellement de flotte ou à l'ouverture de nouvelles lignes. De plus, la compagnie exploitera l'appareil sur d'autres lignes les jours non-ouvrés.

NOTRE RECOMMANDATION

Dérisquer le financement ses flottes décarbonés et l'ouverture de lignes transversales pour les compagnies aériennes, par ce procédé.

Nous avons désormais tous les outils pour déployer notre business case concret

NOTRE ROUTE TOULOUSE (LFBO) – MARSEILLE (LFML) | 169NM – 313km



[Fig.14]

LFBO EN 2040

TODA – LDA : 3025

- Une centrale photovoltaïque de 50MW pour alimenter avions, voitures et navettes électriques
- Un accès direct au TRAM électrique
- Un centre de maintenance expert en aviation décarbonée
- Une zone industrielle voisine

LFML EN 2040

TODA – LDA : 3500

- Un système de taxe d'atterrissage au prorata des émissions par km
- Une zone industrielle voisine
- Une station FLEXY exploitant la voie ferrée vers Marseille St. Charles
- Proximité avec le port de Marseille pour du fret industriel

MARCHÉ ADRESSÉ

En 2023, 22 128 PAX voyageaient sur la route Toulouse-Marseille [31], au cumulé dans les deux sens. Rien qu'en captant 5% des usagers trains actuels sur cette route, nous estimons que cela ajouterait 35 000 PAX [32]. Nous projetons alors **57 128 PAX en 2040** sur cette ligne. Enfin, en supposant qu'un opérateur sur cette ligne se partage équitablement, avec un concurrent, 90% de ce marché, il adresserait 25 708 PAX annuellement. Sur un scénario à **fort taux de remplissage** (80,5%), l'opérateur transporterait en moyenne 15,3 PAX par vol. Pour des vols d'environ 1h, cela permettrait d'opérer l'avion 1700 heures par an.

NOS OPÉRATIONS DE JOUR

En journée, et **6/7j**, notre appareil transportera du **PAX entre Toulouse et Marseille**. La durée de vol estimée est d'une heure. Avec 3 rotations quotidiennes, cela représente un peu plus de **1700h de vols par an** (hors annulation et retards). Ayant l'autonomie nécessaire pour effectuer une rotation complète (avec minima légaux), notre appareil ne se rechargera qu'à l'aéroport de Toulouse, équipé en conséquence. En 2040, les équipements permettront de réaliser nos deux ravitaillements obligatoires en **30min**.

NOTRE APPAREIL HYBRIDE

[Fig.17]

- Appareil certifié monopilote
- MTOW : **8.6T**
- Puissance totale : **2MW**
- Vitesse en croisière : **250kts**
- Payload PAX : **19 sièges**
- Payload Fret : **2T ou 22m3**
- TakeOff-Landing : **800m**

CONTEXTE CHOISI

Nous utiliserons le contexte du **scénario 1** (cf. page7) avec les mêmes paramètres de coûts, revenus et physiques, mais en supposant 1700 heures annuelles d'opération (au lieu de 2000 h.)

⚡ 0,43€/km	✈ 85K€	👤 69%
🚰 85K€	🔧 340K€	🛡 34K€
✈ 12.75M€	📄 85K€	🔄 175K€
💎 85K€	P 40€/h	🎓 85€/h
🚰 19places	🕒 80.5%	🕒 1.7kh.vol/an

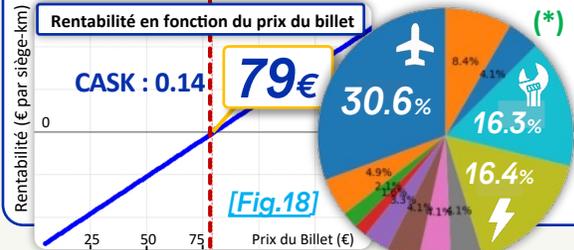
NOTRE BUSINESS MODEL

Dans ce cadre, nous obtenons en 2040 la rentabilité avec un **prix minimal** de billet fixé à **79€**. Pour transiter vers cette situation, nous n'avons, pour la première fois, pas eu recours aux OSP. En effet, nous misons, pour cette ligne, sur un mécanisme de transition évoqué précédemment : **l'approche capitalistique**. En clair, pour minimiser les risques liés à l'investissement dans des avions décarbonés et à l'ouverture de cette ligne, nous optons pour un modèle où nous, opérateurs, nous associons avec un acteur industriel ou un pôle ayant des intérêts directs (clients, partenaires ou sites industriels) dans les échanges de fret réguliers entre Toulouse et Marseille. Par exemple, entre le pôle de fournisseurs aéronautiques toulousain et Airbus Helicopters à Marignane. En utilisant les mêmes paramètres que pour l'avion de transport de passagers, le seuil de rentabilité pour le **fret** est fixé à **755 €/tonne**. [33]

Le modèle opérationnel proposé consiste à transporter des **passagers** 6/7j, en **journée**, et, si nécessaire, à transporter du **fret** pour les entreprises partenaires la **nuit**, grâce à une **cabine modulable certifiée**. L'avantage clé est ici d'opérer sur une seule route, optimisant ainsi l'utilisation de l'appareil dédié à ce trajet.

ZOOM : NOTRE CABINE MODULABLE

Pour cette ligne, nous avons opté pour une nouvelle cabine, totalement et rapidement **modulable**, pouvant transporter ou bien du PAX, ou bien du fret. Cette innovation ne réduit ni le **confort** (IFE, Wifi, legroom) ni la **sécurité** du passager, critères essentiels pour fidéliser nos usagers réguliers.



Notre **prix affiché** du billet est de **86€**. Ce prix reste supportable par rapport au train et à la voiture (respectivement 60€ et 70€), et nous permet de dégager une marge suffisante (**10%**) nécessaire pour être **viable** dans *notre* cas. Comparativement, les "Majors" peuvent fonctionner à marge plus faible aux vues de leur volume PAX et de leurs liquidités bien supérieures.

Après avoir démontré la viabilité de l'opération d'avions régionaux décarbonés en 2040, montrons maintenant comment ce premier usage peut disrupter l'ensemble du secteur

METTRE À L'ÉCHELLE CE PREMIER USAGE

Selon nous, le défi de la décarbonation sera l'opportunité d'une **disruption totale** du secteur. Bien que l'aviation régionale représente moins d'1% des émissions de l'aérien [34], et que la décarbonation de cette verticale, seule, n'impactera pas substantiellement les émissions du secteur, c'est la mise en opération d'appareils légers décarbonés qui constituera la **première étape d'une transformation** générale. En effet, avoir un premier cas d'usage viable, pour l'avion décarboné, permettra de **rassurer** et de **coordonner** les acteurs impliqués. Cela suscitera, *in fine*, les **investissements massifs nécessaires**, d'abord à l'**industrialisation** des petits porteurs, puis surtout au **développement** des futurs moyen & long-courriers décarbonés, responsables de la majorité des émissions de la filière. Cela dit, ces derniers investissements n'émergeront qu'en présence d'un marché de l'aérien régional considérable. Il est donc nécessaire de s'intéresser au caractère **duplicable** du business case présenté précédemment : nous détaillerons maintenant, une série d'actions de **mise à l'échelle** permettant d'envisager un développement international de l'usage décrit dans ce dossier.

I. AFFIRMER LE RÔLE DES ÉTATS ET DES MÉDIAS PUBLIQUES

Nous le savons maintenant, c'est le facteur d'acceptabilité sociale qui détermine majoritairement la rentabilité des compagnies régionales décarbonées et qui **dimensionnera** donc ce marché. Pour jouer sur ce levier social, ce sont les **États** qui occupent le rôle principal. Pour exemple, **Patrick Gandil**, estime que les avions à hélice sont encore vus comme moins fiables et moins modernes que les jets, faute d'une communication adéquate de la part de l'État [35]. Nous pourrions alors imaginer une campagne de sensibilisation financée par une région, **soutenue par l'État**, permettant à des usagers tests de voyager à moindre coût sur de nouvelles lignes régionales.

II. IMPLIQUER LES MAJORS AIRLINES

Bien que la technologie ne permette pas encore une aviation zéro émission à grande échelle, certaines compagnies, comme EasyJet, explorent des options innovantes comme l'avion électrique pour des vols courts (moins de 500 km) [36]. À ce titre, nous pourrions imaginer que les principales Majors utilisent des **lignes régionales** décarbonées comme **laboratoire**. Tout en restant concentrées sur leur **core business**, cela permettra de se familiariser avec les nouvelles technologies et de créer une expertise au sein des filiales **MRO**, indispensable pour préparer la transition de leur flotte principale – en plus de contribuer à l'industrialisation des appareils légers décarbonés.

Professionnel rencontré le 14.06.2024 à 15h00, à l'ambassade d'Inde

LE CAS DE L'INDE – COMMODORE P.ARYA – ATTACHÉ DE L'AIR D'INDE À PARIS

«L'Inde utilise un classement des aéroports : 1er, 2ème, ou 3ème rang.» : si une compagnie accroît son trafic dans les aéroports de 1er rang, elle doit également s'engager à augmenter proportionnellement ses capacités dans les aéroports de 2ème et 3ème rang. Bien que très dirigiste et peu alignée avec le droit communautaire, cette approche non coûteuse pour la puissance publique permettrait d'étendre la flotte et l'opération des nouvelles compagnies "décarbonées" sur tous les aérodromes d'un territoire, contribuant à nouveau à **nourrir et dupliquer** le marché de l'aérien régional.

IV. FINALEMENT : REPENSER LA GOUVERNANCE INTER-RÉGIONALE

Du point de vue institutionnel, notre business case est en mesure d'apporter des réponses à – au moins – trois enjeux majeurs : l'aménagement des territoires, la mobilité inter-régionale et la politique environnementale & sociale. Ces trois domaines entrent dans le champ des compétences exercées par les **Conseils Régionaux**, en partenariat avec les autres collectivités, et en cohérence avec les **prérogatives que l'État** exerce au titre de **l'intérêt général**. À ce titre, le projet de renouveau du transport aérien régional décarboné à l'échelle du territoire national représente une opportunité pour les **Régions** de dialoguer entre elles (puisque l'on sort des limites des territoires), dans le cadre de leurs compétences : pour ce faire, nous posons donc l'hypothèse d'une architecture institutionnelle de niveau inter-régional, sous la forme d'un « **Comité des Régions** » dédié à l'organisation de la mobilité inter-régionale, en lien avec le **Ministère des Transports** et les services de l'État. Au-delà du périmètre de notre proposition, nous avons la conviction qu'une vision européenne a également du sens, et que cet éventuel Comité gagnerait à être l'espace de dialogue et le creuset d'une véritable politique de transport régional **à l'échelle des territoires européens**.

CONCLUSION GÉNÉRALE DU DOSSIER

L'aviation régionale, telle que nous la concevons, est le laboratoire idéal pour le développement du transport aérien décarboné à l'échelle mondiale d'ici 2040. À ce stade, nous avons étudié les besoins de mobilité intérieure, qu'ils soient aériens, ferroviaires, routiers, ou liés au transport de fret, et identifié les conditions nécessaires pour convertir ces besoins en une demande tangible pour l'aérien régional décarboné. De plus, nous avons également démontré la faisabilité d'un modèle d'affaires viable pour les futurs opérateurs d'avions régionaux décarbonés grâce à différents scénarios, nous ayant permis de déployer notre business case. Ce premier usage, centré sur l'exploitation d'avions régionaux décarbonés, dépasse largement le cadre d'un simple segment de marché et possède le potentiel de transformer et de révolutionner l'ensemble du secteur aérien en étant la première démonstration qu'une aviation durable est possible.

En franchissant cette étape initiale, nous poserons ensemble, les bases d'une aviation décarbonée à une échelle plus vaste.

RÉFÉRENCES DU DOCUMENT

- [1] <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A16193> (2023) Direction de l'information légale et administrative (Premier ministre)
- [2] [3] https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf (2021) Rapport Waypoint 2050
- [4] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/bulletin_statistique_trafic_aerien_commercial_1997_2017.zip
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/publications/Bulletin_Statistiques_trafic_aerien_2023.pdf Bulletins statistiques du trafic aérien commercial, DGAC
- [5] <https://www.capital.fr/entreprises-marches/sncf-2023-une-annee-record-pour-le-nombre-de-voyageurs-1490785> (2024) Capital
- [6] <https://www.blablacar.fr/> Site officiel de BlaBlaCar
- [7] <https://ressources.data.sncf.com/explore/?sort=modified> Données brutes SNCF
- [8] <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-le-transport-routier-de-marchandises-trm-en-france-et-en-europe> (2023) SDES, enquête TRM 2014-2022
- [9] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/publications/Bulletin_Statistiques_trafic_aerien_2023.pdf (2023) Bulletins statistiques du trafic aérien commercial, DGAC
- [10] https://github.com/userFINALEconcoursUSAIRE/flux_fret_routier (2023) Données brutes SDES, enquête TRM 2014-2022, **résultats établis par auteurs**
- [11] <https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/maersk-se-renforce-dans-le-fret-aerien-avec-ses-benefices-records-1360264> (2021) Les Echos
- [12] <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-le-transport-routier-de-marchandises-trm-en-france-et-en-europe?rubrique=&dossier=1341> (2023) SDES, enquête TRM 2014-2022
- [13] <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/a45298> (2013) 6 K. Mukkala, H. Tervo, « Air transportation and regional growth : which way does the causality run ? », Environment and Planning A, vol. n°45, 2013.
- [14] <https://www.senat.fr/rap/r18-734/r18-7341.pdf> (2019) Rapport d'information du Sénat fait au nom de la mission d'information sur les transports aériens et l'aménagement des territoires
- [15] <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44752> (2019) Note relative aux compétences des collectivités territoriales en matière d'exploitation des aérodromes et d'organisation des services de transport aérien public
- [16] <https://www.transportenvironment.org/te-france/articles/le-parlement-europeen-approuve-la-loi-sur-la-reduction-des-emissions-de-co2-des-poids-lourds#:~:text=La%20loi%20sur%20les%20%C3%A9missions%20de%20CO2%20des%20poids%20lourds,2035%20et%2090%25%20en%202> (2024) Communiqué de presse de Transport & Environnement
- [17] <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/rapport-maillage-aeroportuaire-francais-2017.pdf> (2017) Agence pour la cohésion des territoires (source de donnée : DGAC)
- [18] <https://lejournaldugers.fr/article/47547-airseas-deploie-son-immense-seawing-a-laeroport-dauch> (2021) Le journal du Gers
- [19] <https://www.groupe-sncf.com/fr/innovation/mobilite-territoires/flexy> FLEXY : le système rail-route pour les petites lignes (Groupe SNCF)
- [20] <https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2022/12/rapport-multimodal-2022-pdf-final-2.pdf> (2022) LE TRANSPORT DE VOYAGEURS EN FRANCE
- [21] <https://www.en2mots.info/une/2023/04/06/692589-Taxiway+entre+a%C3%A9roport+et+ZA+projet%C3%A9+un+Pau> (2023)
- [22] <https://www.guardianjet.com/jet-aircraft-online-tools/aircraft-brochure.cfm?m=Beech-1900D-198> Guardian Jet
- [23] https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf (2021) Rapport Waypoint 2050
- [24] <https://www.lesechos.fr/pme-regions/occitanie/avions-hybrides-aura-aero-marque-des-points-1872344> (2022) Les Echos
- [25] https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf (2021) Rapport Waypoint 2050
- [26] <https://www.aerotime.aero/articles/aura-aero-reveals-final-design-for-hybrid-electric-aircraft-concept> (2023) AeroTime
- [27] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32008R1008> (2008) Règlement (CE) n° 1008/2008 du Parlement européen et du Conseil du 24 septembre 2008 établissant des règles communes pour l'exploitation de services aériens dans la Communauté and conditions for operating Public Service Obligation (PSO) routes in Europe
- [28] https://www.eraa.org/system/files/170105_pb_pso_brochure_2016.pdf (2016) ERA's summary and advice to members on the provisions and conditions for operating Public Service Obligation (PSO) routes in Europe
- [29] <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx> Site web ICAO
- [30] <https://www.air-journal.fr/2019-06-13-une-ligne-airbus-pour-air-corsica-2-5213044.html> (2019) Air Journal
- [31] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/publications/Bulletin_Statistiques_trafic_aerien_2023.pdf Bulletins statistiques du trafic aérien commercial DGAC
- [32] https://github.com/userFINALEconcoursUSAIRE/frequentation_gare Données brutes SNCF, résultats établis par **auteurs**
- [33] https://github.com/userFINALEconcoursUSAIRE/rentabilite_FRET.git Programme Python : **auteurs**
- [34] https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf (2021) Rapport Waypoint 2050
- [35] <https://www.senat.fr/rap/r18-734/r18-7341.pdf> (2019) Rapport d'information du Sénat fait au nom de la mission d'information sur les transports aériens et l'aménagement des territoires
- [36] <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/services/transport-logistique/easyjet-annonce-les-premiers-essais-moteur-pour-le-projet-d-avion-zero-em> 891859.html#:~:text=Soutenu%20par%20la%20compagnie%20%C3%A0,le%20voir%20voler%20 (2021) La Tribune

FIGURES PRÉSENTÉES

- (Fig.1) Cartes issues du bulletins statistiques du trafic aérien commercial, DGAC
- (Fig.2) Données brutes SNCF, graphe généré par **auteurs**
- (Fig.3) Données brutes SNCF, graphes générés et résultats établis par **auteurs**
- (Fig.4) Données brutes SDES, enquête TRM 2014-2022, graphes générés et résultats établis par **auteurs**
- (Fig.5) Cartes Aerobreak
- (Fig.6) Image VFR Pilotes, schéma imaginé par **auteurs**
- (Fig.7) Données brutes SNCF, graphe généré par **auteurs**
- (Fig.8) Cartes SNCF Réseau
- (Fig.9) Photo issue de Google Earth
- (Fig.10) Arborescence : **auteurs**
- (Fig.11) Programme Python : **auteurs**, graphes et résultats générés par **auteurs**
- (Fig.12) Programme Python : **auteurs**, graphes et résultats générés par **auteurs**
- (Fig.13) Programme Python : **auteurs**, graphes et résultats générés par **auteurs**
- (Fig.14) Photo générée sur FlightPlanDataBase
- (Fig.15) Photo issue de Google Earth
- (Fig.16) Photo issue de Google Earth
- (Fig.17) Image issue du site web AURA AERO
- (Fig.18) Programme Python : **auteurs**, graphes et résultats générés par **auteurs**