



**HAL**  
open science

## Approches alternatives pour penser et construire le futur du transport aérien : exemples d'expériences pédagogiques.

Catherine Letondal, Isabelle Laplace, Thierry Druot, Corinne Bieder, Sylvain Pauchet, Laetitia Bornes

### ► To cite this version:

Catherine Letondal, Isabelle Laplace, Thierry Druot, Corinne Bieder, Sylvain Pauchet, et al.. Approches alternatives pour penser et construire le futur du transport aérien : exemples d'expériences pédagogiques.. Entretiens de Toulouse, Jean-Claude HIRONDE, Apr 2024, Toulouse (31000), France. hal-04392416

**HAL Id: hal-04392416**

**<https://enac.hal.science/hal-04392416>**

Submitted on 13 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Approches alternatives pour penser et construire le futur du transport aérien : exemples d'expériences pédagogiques.**

Catherine Letondal

ENAC

*Co-auteurs : Thierry Druot, Corinne Bieder, Laetitia Bornes, Isabelle Laplace et Sylvain Pauchet.*

## **Introduction**

Face aux enjeux environnementaux et au dépassement actuel de plusieurs des limites planétaires déterminées pour un monde sûr et juste (Gupta et al, 2023), le transport aérien vit aujourd'hui un début de transition inédite (Chiambaretto et al., 2023) qui amène l'École Nationale de l'Aviation Civile à réfléchir aux compétences des futurs ingénieurs qu'elle forme. L'ENAC a dans ce cadre mis en place depuis septembre 2021 une semaine Rentrée Climat et Enjeux Sociétaux pour tous les étudiant.e.s primo-entrants dont l'objectif est de transmettre un socle commun de connaissances et de stimuler des réflexions individuelles et collectives sur les enjeux de transition socio-écologique du transport aérien. Durant cette semaine les étudiant.e.s de plusieurs cursus sont mélangés en groupe, suivent ensemble des ateliers participatifs et collaboratifs (Fresque du climat, atelier 2 tonnes, Fresqu'Aéro), des e-learning, des conférences et doivent rendre des travaux de groupe présentant leurs visions du transport aérien en 2050 ainsi que les leviers d'action qu'ils estiment pertinents pour atteindre cette vision. Si cette semaine mobilise environ 70 membres du personnel volontaires, tous les enseignants sont plus généralement sensibilisés pour prendre en compte, selon les matières enseignées, ces enjeux de la manière qui leur semble la plus pertinente.

Parmi ces enseignements, certains consistent à proposer et encadrer des projets dits "Projets Innovation Challenge" ou PIC, ainsi que des projets d'initiation à la recherche consacrés à la transition écologique du transport aérien (PIR-TETA) ou des stages d'été. Depuis 5 ans, 1 ou 2 sujets par an ont été menés par des groupes de 1 à 4 étudiant.e.s ingénieur.e.s. Dans ce cadre, le choix a été fait de proposer des sujets permettant aux étudiant.e.s de prendre conscience de la situation environnementale dans toute sa mesure, de se poser par eux-mêmes des questions sur les impacts du transport aérien, et de construire sous des formes diverses des représentations d'un transport aérien futur compatible avec les limites planétaires. Certaines années, le sujet a été accompagné par des membres de l'association 3AF (Association Aéronautique et Astronautique de France) intéressés par ces questionnements. Afin de permettre aux étudiant.e.s d'aborder ces sujets complexes de manière ouverte, exploratoire et constructive, nous leur avons proposé d'explorer, en plus des méthodes de modélisation mathématiques et de simulation qu'ils devaient aussi utiliser, des approches différentes des méthodes d'ingénierie qui leur sont traditionnellement enseignées : méthodes issues du design, de la fiction, de la gamification, etc. Tous les groupes ont également pu participer à un cours/TD d'introduction de 4h dispensé par un enseignant-chercheur de l'ESTIA spécialiste de soutenabilité et d'innovation (fondateur des 24h de l'innovation)(Faham et al. 2018), sur de nombreuses méthodes

d'innovation : 6 hats, C-K, ASIT, 9 screens, 5W1H, SWOT, Blue Ocean Strategy, matrices de découvertes, PPCO, SCAMMPERR, Lotus Blossom, etc.

L'objet de notre atelier aux entretiens de Toulouse est d'élargir notre réflexion sur les approches alternatives pour penser le futur du transport aérien. Nous commencerons lors de l'atelier par partager nos expériences pédagogiques. Après avoir présenté ces projets, notre but, pendant la suite de l'atelier, est tout d'abord de discuter tant les sujets que les méthodes. Nous sommes également intéressés par un échange sur le cadre que nous pourrions donner à ces projets dans l'optique d'une co-construction d'un continuum académie-industrie.

Dans cet article, nous présentons tout d'abord un résumé des projets que nous avons coencadrés, en mettant l'accent à la fois sur les aspects méthodologiques et environnementaux qu'ils ont permis aux étudiant.e.s d'explorer. Nous ouvrons ensuite une discussion sur la pertinence pédagogique de ces explorations, et sur l'intérêt potentiel d'une collaboration entre académiques et industriels sur ces questionnements utilisant des méthodes similaires.

## Les projets

Dans cette section, nous présentons quelques exemples de projets menés par des étudiant.e.s ingénieur.e.s.

### 1. Navigation aérienne utilisant les vents : première exploration

#### a) Sujet proposé (3 étudiants ingénieurs co-encadrés par l'ENAC et la 3AF)

Imaginer comment un système, bien qu'étant le jouet du vent, permettrait de se déplacer d'un point A à un point B.

#### b) Travail réalisé

Les étudiants ont pris en compte deux types de vent : les jetstreams, rapides (100 km/h) et à haute altitude et les alizés plus lents (20km/h) et plus bas ou les westerlies. Selon les estimations des étudiants, ce type de propulsion pourrait permettre le déplacement souhaité à condition d'y consacrer plusieurs jours (jusqu'à 110 jours pour un Paris-New York uniquement par les alizés). Outre la possibilité de changer de direction en changeant d'altitude dans un vent stratifié, les élèves ont aussi imaginé un système de traction par une voile de type "kite" volant à une altitude différente. Comme décrit dans l'article (Le Calvez et al. 2018), ils ont abordé la modélisation d'un tel système à l'aide de modèles aérodynamiques semi-empiriques.

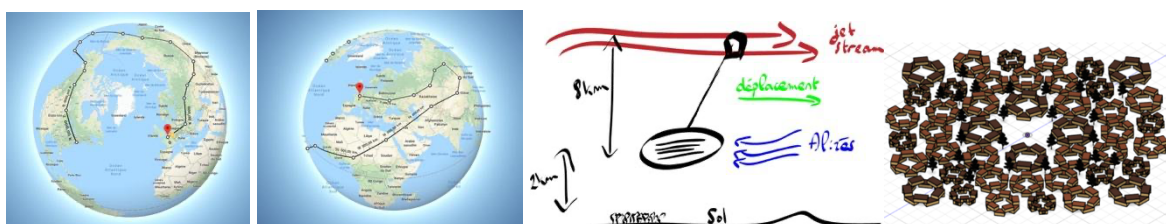


Figure : (de gauche à droite) : trajet Paris New York en jetstream (14 jours) ; milieu : en alizés (110 jours) ; schéma de principe d'une traction par kite (le module d'habitation évolue en dessous de 3000m mais sa trajectoire est déviée par un kite situé bien plus haut dans un jet stream); dispositions et formes de logements explorés par un projet suivant.

Une conclusion de ce projet portait sur la nécessité d'envisager un vaisseau habitable pour un voyage de plusieurs mois, vaisseau que les étudiants ont donc baptisé "aérocité".

### c) Bilan

Lors de ce projet, les méthodes employées étaient assez classiques : état de l'art, modélisation mathématique, croquis étayés par des pré-dimensionnements, scénarios. Le projet a été l'occasion pour les étudiants de mener un raisonnement non trivial de type scientifique et technique par eux-mêmes, et d'apprendre à modéliser et à calculer. Même si cette réflexion n'a bien sûr pas abouti à un objet technique viable, cela a permis aux étudiants d'apprendre à se lancer et à être autonomes sur ces aspects. Enfin, le projet a permis aux étudiants de réfléchir au contexte politique et social de leur proposition, réflexion résumée dans l'article qu'ils ont rédigé. Ce travail a été repris dans un autre projet où les étudiant.e.s ont mené une étude de terrain sur les besoins de voyages écologiques longs à travers des interviews auprès de personnes ayant toutes effectué un voyage atypique, utilisé les méthodes comme C-K pour les sources d'énergie, et ASIT pour le stockage de l'énergie pour proposer dimensionnement d'une aérocité en termes de nombre et taille de logements, de ressources (eau, ...), d'énergie, de volume d'hélium nécessaire, mais aussi d'activités culturelles requises.

## 2. Conception d'un jeu de cartes pour "sauver" le transport aérien

### a) Sujet proposé

Concevoir un jeu coopératif qui permet de représenter l'état du monde aéronautique, dans lequel le but des joueurs incarnant différentes parties prenantes du transport aérien (compagnies aériennes, constructeurs d'avions, producteurs d'énergie, état) est de sauver le transport aérien.

### b) Travail réalisé

Un état de l'art des jeux coopératifs a été réalisé et les étudiants ont pu rencontrer un créateur de jeux. Une interface a ensuite été conçue présentant aux joueurs l'état actuel du secteur aérien à un temps donné dans le jeu (nombre d'années écoulées, taux d'émission de CO<sub>2</sub>, quantité d'argent restant, ...) et permettant de partager des informations aux joueurs concernant le déroulement du jeu, comme certaines contraintes actives pendant un nombre de tours fixes, les conditions météorologiques. Un second objectif était de déterminer des ordres de grandeur réalistes pour les différentes valeurs utilisées (taux d'émission de CO<sub>2</sub>, quantité de matières nécessaires, main d'oeuvre, ressources énergétiques, argent, ...) : à cette fin, les étudiants ont établi des sortes de cartes factuelles (compagnies aériennes, fabricants d'avion, producteurs d'énergie, ...). Enfin le plateau, les cartes (cartes événements, etc selon le modèle Galèrapagos), et les règles du jeu (élaborées en plusieurs itérations) ont été mises en scène dans des sessions de jeu auxquelles ont participé des enseignant.e.s.



Figure : gauche : le plateau ; droite : exemple de cartes événements.

### c) Bilan

Outre la réussite du projet (mené de manière agile, avec nombreux tests et plusieurs itérations) en termes de conception d'une première version d'un jeu avec des exemples de déroulement démontrant la pertinence des éléments (cartes, règles, etc), cet exercice a été l'occasion pour les étudiants de compiler et de manipuler des données aéronautiques et environnementales objectives, tout en se posant des questions de valeurs individuelles et collectives à travers la réflexion sur le but du jeu. En effet, quel est l'objectif d'une partie réussie ? Selon eux, il s'agissait d'avoir un modèle économique viable tout en parvenant à un bilan CO2 nul. L'intérêt d'une mise en œuvre tangible de cette problématique à travers des éléments chiffrés et des règles explicites s'est manifesté lors de la soutenance du projet qui a donné lieu à un débat bien structuré et constructif.

## 3. Une plate-forme de transport intermodale bio-inspirée

### a) Sujet proposé

Le sujet a été proposé à 3 étudiant.e.s ENAC en collaboration avec un groupe de 4 étudiant.e.s du mastère Nature-Inspired Design de l'ENSCI (École Nationale Supérieure de Création Industrielle). Il s'agissait d'explorer, avec un versant ingénierie et un versant design, comment la mobilité aérienne pourrait se combiner de manière multimodale à d'autres mobilités. Trois des étudiant.e.s de l'ENSCI étaient des professionnels expérimentés en design en formation continue. Les deux groupes ont travaillé à distance et sur des périodes légèrement décalées mais en très bonne entente en partageant un board Miro pour les livrables et la gestion de projet..

### b) Travail réalisé

Le projet a donné lieu à de très nombreuses activités, cadrées par des étapes définies à l'ENSCI. Le projet a commencé par un cadrage systémique de la problématique (économie, environnement, société, technologie, politique), où les étudiant.e.s ENAC ont aussi pu étudier des données objectives concernant l'aéronautique. Après avoir mis en œuvre une méthode de fouille et de biomimétisme, établissant pour plusieurs espèces des cartes décrivant leur type de mobilité et comment il était possible de s'en inspirer, les étudiant.e.s ENAC ont produit un concept global de voyages utilisant les courants marins pour une plate-forme maritime et aéroportuaire flottante et immerisible (à cause des tornades). Cette plate-forme favorise l'intermodalité en offrant la possibilité de combiner plusieurs moyens de transport lors de son voyage, et sert de station de rechargement pour les aéronefs électriques futurs, dont nous ignorons pour l'instant les performances. Un dimensionnement énergétique a été abordé. Ce dernier aspect a permis aux étudiant.e.s de prendre

conscience des ordres de grandeurs énergétiques et des rendements associés aux différents modes de production d'énergie mais aussi aux divers modes de transport envisagés.

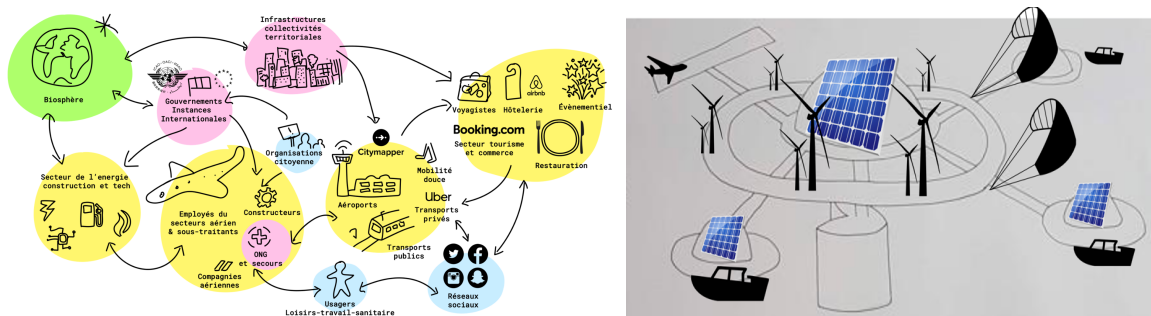


Figure : gauche : illustration du cadrage systémique de la problématique ; droite : plate-forme houlomotrice circulaire, inspirée de la galère portugaise qui se déplace au gré des vents et des courants marins (elle possède une forme de bouée flottant sur l'eau). Les modules sont inspirés des virus : un virus a en effet des capacités à prendre différentes formes pour rentrer dans des systèmes différents. La partie immergée s'inspire du poisson lune qui possède une nageoire dorsale mais aussi ventrale qui lui permet de se diriger grâce aux mouvements des fonds marins. L'intermodalité air-mer s'inspire de la cigogne dont la migration est discontinue et comporte de nombreuses étapes sur son trajet pour arriver à sa destination.

### c) Bilan

Au terme du projet, le livrable fourni par les étudiant.e.s était un numéro spécial de journal dans lequel les étudiant.e.s présentent leur conception d'un "voyage dans le futur, inspiré par le vivant", et où ils font aussi état de leur satisfaction d'avoir pu se projeter dans le futur et d'avoir interagi avec des designers, et pratiqué leurs méthodes.

## 4. Design fictions pour trois scénarios alternatifs du transport aérien du futur

### a) Sujet proposé

Vers une aviation raisonnée dans une société raisonnée. Il s'agissait de formuler trois scénarios illustrant le fonctionnement des transports dans la société du futur (à horizon 2100) en fonction des modes de vie de cette société. Ces scénarios devaient être exprimés comme des "design fictions", suffisamment explicites pour que cela permette la réflexion et le débat, dans un format qui illustre bien les situations et leur complexité (bande dessinée, vidéo, pièce de théâtre, fresque, nouvelle illustrée, simulation ...). Les trois scénarios étaient formulés ainsi :

- un futur sans avion afin de démontrer avec des arguments suffisamment tangibles le côté simpliste de cette solution, et ce, à condition de le décrire vraiment
- un futur avec un usage de l'aéronautique totalement généralisé (inégalitaire ou pas), qui peut être une extrapolation d'aujourd'hui
- un futur intermédiaire

Il fallait se concentrer uniquement sur quatre catégories de transport : le transport de marchandise, le voyage d'affaires, le transport humanitaire et le voyage d'agrément.

### b) Travail réalisé

Les trois étudiants ont su mener à bien le projet dont le résultat a été livré sous la forme de trois fictions (une vidéo, un journal et un conversation du type Whatsapp), assorties d'un document de conception fournissant un design rationnelle de toutes les options choisies, tant pour les dimensions politiques et techniques que pour toutes les questions de forme décidées pour chaque fiction. Ces livrables se fondent sur une identification des sources de



surconsommation et de pression environnementale dans notre façon de voyager et dans notre mode de vie.



Figure : gauche : vidéo du scénario rouge (la loi du plus riche, où les riches se barricadent dans des places fortes), milieu : journal du scénario bleu (une société raisonnée, comportant quelques hubs aériens près des océans), droite : image de la conversation du scénario vert (une nation de villages sans aviation et où le seul déplacement permis est pour les études).

### c) Bilan

Le retour des étudiants témoignait d'un grand enthousiasme pour ce projet excellent - enthousiasme communicatif semble-t-il auprès de leurs pairs et de leurs proches.

Tous les projets menés depuis 2018 n'ont pas pu être décrits ici, faute de place. Pourraient également figurer ici : un projet de transport dual passagers-bagages, un projet sur le dirigeable durable et d'aéroport durable, une simulation interactive d'aéroport durable, un projet évaluant des vols dans l'atmosphère des autres planètes, une étude du low-tech dans l'aviation, et deux cartographies de controverses du transport aérien.

## Discussion

Ces projets d'exploration des futurs possibles du transport aérien ont démontré une pertinence pédagogique à plusieurs égards. Ils ont donné aux étudiant.e.s la liberté d'imaginer, leur ont permis de concevoir par hypothèses et projections, ainsi que de mener un processus exploratoire. De plus, ce sont les étudiant.e.s qui ont déterminé leurs objectifs selon leurs critères, ce qui a constitué une opportunité pour eux d'apprendre l'autonomie dans l'étude technique et scientifique. La prise en compte du contexte social, économique, politique et environnemental a permis aux étudiant.e.s de développer une vision globale des enjeux du transport aérien. L'identification et le questionnement des enjeux, des impacts et des leviers ont développé leur capacité à appréhender les situations complexes. Ces projets et réflexions ont permis aux étudiant.e.s de mettre en œuvre des méthodes de créativité (design fiction, design systémique, brainstorming, prototypage, méthode double diamant...). Les échanges avec les enseignant.e.s se sont révélés particulièrement riches. Enfin, ces expériences ont constitué un premier apprentissage de l'inter-disciplinarité.

Ces expériences ont suscité de l'intérêt et ont montré qu'il est possible de réfléchir et travailler autrement, de façon peut-être plus adaptée aux défis auxquels les activités humaines (dont le transport aérien) sont confrontés. Nous pensons qu'une collaboration

entre académiques et industriels est nécessaire pour prolonger ces questionnements et envisager l'utilisation de méthodes similaires au-delà du seul cadre académique.

## Conclusion

Parmi nos étudiant.e.s, nous observons parfois des attitudes de renoncement pouvant se schématiser de la façon suivante : “*Le monde est tel qu’il est, nous savons que nous allons en être des victimes mais nous n’y pouvons rien*”. Une telle attitude est évidemment mortifère. En tant qu’enseignant.e.s à l’ENAC, nous pensons qu’elle provient principalement d’une méconnaissance des leviers de toutes natures qui sont à la disposition des citoyen.ne.s et des ingénieur.e.s pour infléchir la marche de nos sociétés dans des directions désirables. Par les projets que nous proposons à nos élèves, nous tentons de contribuer à leur alphabétisation du futur (Miller, 2018) à travers deux axes de réflexion principaux : la vision système de la complexité ainsi que la modélisation mathématique des ordres de grandeurs. Les difficultés conceptuelles sont cachées dans des sujets intégrant une importante composante d’imaginaire, et sollicitant fortement la créativité, dans le but de les aider à se projeter dans des avenir collectivement désirables, dont ils pourraient être les promoteurs.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Francis Guimera, Philippe Jarry, Jean-Pierre Jung et Manola Romero de l’association 3AF pour le temps qu’ils ont consacré à l’encadrement de plusieurs des projets cités dans cet article et pour avoir partagé leur expérience avec les étudiant.e.s. Merci également à Nicolas Peteilh et Réjane Lavenac pour avoir initié les projets PIC au sein de l’ENAC. Nous remercions également Jérémy Legardeur, enseignant-chercheur à l’ESTIA, pour les cours de méthodes d’innovation qu’il dispense depuis cinq ans à l’ENAC.

## Références

Paul Chiambaretto, Emmanuel Combe, Le transport aérien - Éditions La Découverte.2023

Faham, Jérémie & Barquissau, Eric & Recherche, Estia & Legardeur, Jérémy. (2018). Les challenges des stratégies d’innovation régionales ou l’émergence de nouveaux espaces pour les structures de l’accompagnement « traditionnelles ».

Gupta, J., Liverman, D., Prodani, K. et al. Earth system justice needed to identify and live within Earth system boundaries. *Nat Sustain* 6, 630–638 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01064-1>

Le Calvez, A., Liehn, F. and Tobelem, S. Flying cities : a solution to make air travel compatible with environmental issues. Technical report, ENAC, 2018.

Miller, R. (2018). *Transforming the future: Anticipation in the 21st century* (p. 300). Taylor & Francis.