

ET SI LES AVIONS DU FUTUR S'INSPIRAIENT DES OISEAUX ?

Interview à Toulouse de 4 chercheurs



Projet soutenu par :

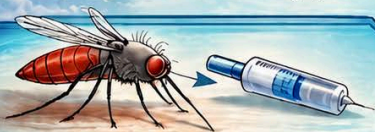




La Bio-inspiration :

quand la nature devient ingénieuse !

Au fil de l'évolution, la nature trouve souvent **des solutions astucieuses à des problèmes** que les ingénieurs rencontrent aussi. **Observer**, comprendre et adapter ces **inventions naturelles** à nos technologies, c'est ça, la **bio-inspiration** !



Le moustique pique presque sans douleur...
Les ingénieurs s'en inspirent pour créer des **aiguilles douces** !



Les abeilles construisent malin : solide et sans gaspiller de cire.
Les ingénieurs s'en **sont inspirés** pour créer des **emballages solides et légers** !



Le train Shinkansen s'inspire du martin-pêcheur pour **améliorer sa vitesse et réduire le bruit** !



Elle a pas mal de choses à nous apprendre !



À RETENIR

La **bio-inspiration** en ingénierie, c'est **observer le vivant** (animaux et végétaux) pour **inventer** ou **améliorer des technologies** !

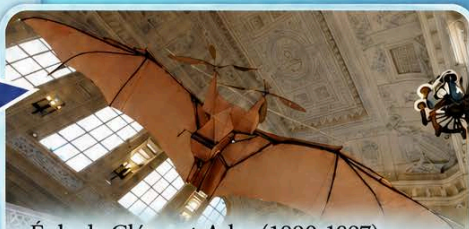


Est-ce que la nature peut aussi inspirer les ingénieurs en aéronautique ?

OUI ! L'homme a commencé à copier la nature pour essayer de planer puis de voler.



Planeur d'Otto Lilienthal qui copie les ailes déployées de la cigogne; premier vol plané de 80m en 1894



Éole de Clément Ader (1890-1897), qui copie la structure de l'aile de la chauve-souris. Clément Ader effectua la 1^{er} vol mondial de 300m avec un engin plus lourd que l'air le 14 octobre 1897, bien avant les frères Wright qui effectueront le premier vol soutenu sur une plus longue distance en 1903.

Il est aussi l'inventeur du mot « Avion », par le latin « avis » qui veut dire « oiseau ». Son avion, « Eole », est en présentation permanente au musée du Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris.

? Sais-tu où est né Clément Ader ?

Réponse : à Muret, à côté de Toulouse.



Aujourd'hui, cette observation continue,
mais dans des laboratoires de recherche !

Aujourd'hui, je commence mon interview
au **LAPLACE*** situé au sein de
l'école d'ingénieurs **N7****...

Et ensuite... direction l'**IMFT*****
pour en savoir plus sur les 'ailes.

Définitions:

LAPLACE* : Laboratoire de **PLA**smas et **C**onversion d'Énergie, qui dompte l'électricité et les plasmas pour l'énergie de demain.

N7** (ou **ENSEEIH**T) : École **N**ationale **S**upérieure d'Électrotechnique, d'Électronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications, qui forme des ingénieurs.

IMFT*** : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse qui décrypte le mouvement des fluides (gaz, liquide), et entre autres étudie comment créer et développer des ailes du futur.



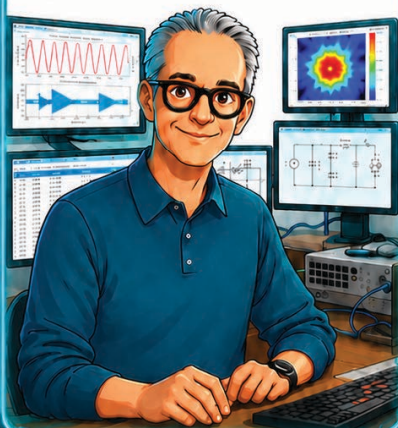
Pouvez-vous vous présenter ?

 Laplace

 IMFT

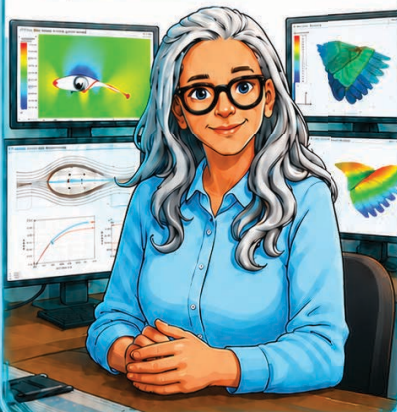
Je suis Jean-François.

- J'ai fait un doctorat sur la tribologie des moteurs piézoélectriques en 1996.
- J'ai dirigé le département Génie Électrique et Automatique de l'ENSEEIHt entre 2009 et 2014.
- J'ai après cela dirigé l'école ENSEEIHt entre 2015 et 2024.
- Au Laboratoire LAPLACE, j'étudie en ce moment comment concevoir des actionneurs électriques qui peuvent être utilisés en aéronautique.



Je suis Marianna.

- J'ai fait un doctorat d'État en Mécanique des Fluides pour l'étude de la turbulence autour de configurations aérodynamiques en 1986.
- J'ai dirigé un des six groupes de recherche de l'IMFT de 2003 à 2007.
- Au sein de l'IMFT, je dirige la plate-forme de recherche Smartwing Morphing Centre depuis 2010
- Je suis coordonnatrice des projets Européens SMART MORPHING et BEALIVE portant sur la bio-inspiration pour les ailes du futur, capables de consommer moins d'énergie et de produire moins de bruit.



C'est quoi un laboratoire de recherche ?

La mission principale d'un laboratoire est d'initier et développer des activités de recherche fondamentales et appliquées. Pour cela, le laboratoire met à disposition un ensemble de chercheurs, ingénieurs et techniciens qualifiés, des moyens expérimentaux importants, de grandes installations, un ensemble d'ordinateurs performants et de l'accès à des Supercalculateurs des Centres Nationaux et Européens, permettant de faire des simulations numériques de Haute Fidélité. À l'aide de ces moyens, des étudiants sont guidés par des chercheurs confirmés pour accomplir des recherches sur des sujets innovants, en ce qui concerne leurs projets d'études de diplôme, de thèses de Doctorat et d'études post-doctorales.

Pour améliorer les performances des avions, on travaille sur les ailes !

En **Mécanique des Fluides** appliquée en aérodynamique et hydrodynamique, on étudie les **vitesses** et **pressions** autour de corps avançant dans le milieu fluide, notamment les turbulences créées par leur mouvement, et on essaie de trouver des mécanismes similaires au vol des oiseaux ou la nage de poissons pour améliorer leur performances.

En **électrotechnique**, on crée des **actionneurs électriques** pour permettre cette amélioration.

Mécanique des fluides

Actionneurs électriques

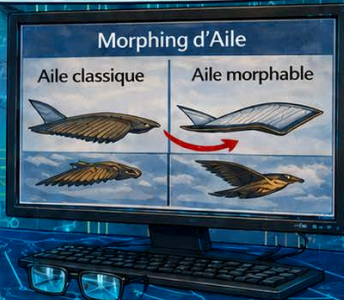
Maintenant je vais interviewer
deux jeunes chercheurs...



Comprendre ce que l'on appelle le morphing

Je suis Jacques, chercheur, et j'ai réalisé ma thèse sur le morphing d'ailes d'avion

Le morphing d'ailes c'est permettre à une aile de se modifier en vol.



Une aile classique est rigide.
Une aile morphing peut modifier sa courbure ou son profil et se doter de vibrations utiles selon les conditions de vol.

? Question

Sais-tu ce qu'est une thèse ?

⋮ Réponse

un long travail de recherche (3 ans) sur un sujet précis : en science, en histoire, en psychologie, etc...

Comment fait-on pour tester cette idée en laboratoire ?

Salut, c'est Nils, doctorant (chercheur en formation) à l'IMFT, j'étudie avec Jacques et d'autres chercheurs de l'équipe, comment rendre l'aile d'un A320 plus souple et adaptable en vol... un peu comme une aile d'oiseau.



✈ A320 : avion de ligne qui transporte des passagers.

★ Pour tester cette idée, on utilise un banc de test.

Un banc de test est un dispositif qui permet de tester un prototype en laboratoire.



Electroactive Live-skin :
peau électroactive vivante

Dans une **SOUFFLERIE**

Dans un laboratoire de recherche...

Voici notre soufflerie
à échelle réduite !

Dans notre cas l'aile ne
bouge pas bien sûr, c'est l'air
qui est projeté sur l'aile.



À RETENIR

Une soufflerie permet de tester nos idées en simulant le déplacement de l'air sur l'aile.

Pour un test sur une maquette comme celle-ci, on utilise cette soufflerie.

Mais on peut aussi tester des ailes à échelle proche d'une grandeur réelle grâce à une grande soufflerie.



Après un test sur des ailes à taille réduite, on souhaite maintenant effectuer des essais sur des ailes **proches d'une grandeur réelle**.

A large, blue, cylindrical industrial wind tunnel. Inside the tunnel, a large, metallic, curved wing prototype is mounted on a support structure. Two people are standing on a platform in the foreground, looking at the wing. The scene is lit with blue light, and the background shows the interior of the tunnel with various structural elements.

Ici, on fait passer de l'air très vite autour d'un prototype d'aile à échelle proche de la réalité.

À RETENIR

- **Soufflerie** : Tunnel où l'on recrée les conditions de vol de l'avion lorsqu'il est dans l'air.

Comment fonctionne une soufflerie?

De puissants ventilateurs propulsent l'air à grande vitesse dans le tunnel.

Ventilateurs :



Ils mettent l'air en mouvement.

Zone de test :



Le prototype d'aile est placé au centre du flux d'air

Capteurs :

Ils enregistrent toutes les données des forces aérodynamiques et des pressions



Et toi, sais-tu ce qu'il se passe quand l'air rencontre l'aile ?

?



Que doit-on faire sur une aile pour améliorer son comportement

Augmenter la portance

Diminuer la résistance
au vent (trainée)

Diminuer le bruit

➡ **Portance** : force qui soulève l'avion et lui permet de rester en l'air.

- **Trainée** : force de l'air qui freine l'avion. Plus l'air est turbulent (agité en tourbillons), plus il "accroche" à l'aile et plus le freinage est fort !

😊 **Bruit** : Tu sais ce que c'est !



Pas de panique ! Je t'explique tout cela...

En laboratoire, nous testons des avions en miniature pour observer comment les améliorer !

Sous l'aile, la pression est plus forte qu'au-dessus.

Cette différence crée une force vers le haut :
la **PORTANCE**.

Faible pression

TOURBILLONS

Et derrière l'aile,
ces tourbillons ?

Trainée

PROFIL AÉRODYNAMIQUE

Haute pression

Nous observons :

- Le flux d'air autour de l'aile
- Les forces générées (portance et trainée)
- Les déformations du prototype pour améliorer les performances

TRAÎNÉE

Les tourbillons proches de la surface et du sillage épaississent la forme aérodynamique et, de ce fait, font augmenter la trainée.

L'avion a besoin de plus d'énergie pour avancer.

Les tests en laboratoire nous donnent des résultats



Nous avons des résultats en soufflerie...
voyons maintenant comment les améliorer !



Avant les tests en soufflerie,
on a équipé nos ailes avec des
actionneurs piézoélectriques
pour modifier la circulation de l'air.

Avant : aile classique, rigide



Des actionneurs piézoélectriques
répartis sur l'aile vont générer
des **petites déformations** et des
vibrations comme les plumes des oiseaux.



Ces petites déformations et vibrations
vont augmenter la **portance**, réduire
la **trainée** et le **bruit**.



C'est
vraiment top !

Sais-tu ce que c'est l'effet piézoélectrique ?

L'effet piézoélectrique est le phénomène par lequel une
impulsion électrique appliquée à certains matériaux provoque
une déformation mécanique : ils changent légèrement
de forme sous l'effet du courant.

En travaillant avec le dispositif que l'on vient de t'expliquer, on obtient une réduction de la consommation de carburant ! car on diminue l'énergie nécessaire à la propulsion

Peux-tu me donner un exemple ?

Oui ! Regarde les chiffres sur cet exemple

Toulouse - Montréal

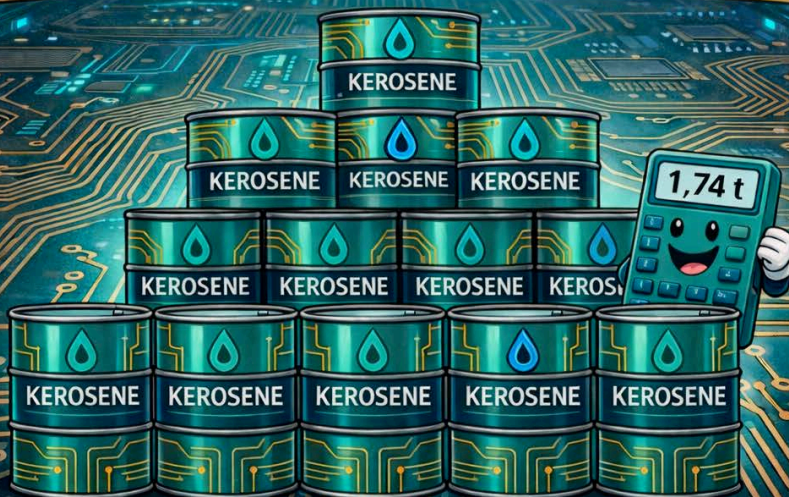
✈ Avion : Airbus A350-900

📍 Distance : 5713 km

🕒 Temps de vol : 7 heures

🛢 Économie : 1,74 tonne de kérosène

On a économisé 13 barils !



Quel autre impact sur l'environnement ?

Les équipements de morphing sont-ils recyclables ?



Ça dépend des matériaux.
Le métal se recycle assez bien.

Les fibres avec résine époxy sont plus difficiles à recycler.

Certaines contiennent du plomb, mais des alternatives plus écologiques sont en développement.



Métal



Se recycle facilement

CO₂



Fibres + Résine Epoxy



Difficiles à recycler



Certains contiennent du plomb



J'ai maintenant fini mon interview et on va conclure !





Inventer le demain!

Des chercheurs s'inspirent, testent et valident

À Toulouse, capitale européenne
de l'aéronautique,
les chercheurs d'aujourd'hui étaient
les lycéens d'hier.
Le prochain pourrait être toi !



Résumé :

Grâce à la **bio-inspiration**, nous avons nettement amélioré la forme des ailes d'avion du futur, qui consomment **moins d'énergie** et produisent **moins de bruit**. Cela a été rendu possible grâce à la collaboration entre l'**aérodynamique** et les **matériaux intelligents**.

En **parallèle** des tests en **soufflerie**, nous effectuons des calculs ultra-précis autour des ailes à l'aide de **supercalculateurs** traitant des **millions de données**. Ces calculs permettent d'**optimiser** les formes et les vibrations des ailes afin d'atteindre de **meilleures performances**.

C'est la **forte synergie** entre le prototype, les expériences en soufflerie et ces calculs de **haute fidélité** qui permet de mettre au point de **nouvelles formes d'ailes d'avion**.

STORYBOARD RÉALISÉE DANS LE CADRE D'UNE THÈSE EA²GLE
POUR LE PROJET PÉGASE ET POUR L'ANNÉE DE L'INGÉNIEURIE

AUTEURS

Jean-François Rouchon · Marianna Braza · Nils Mayard
Jacques Abou Khaill · Ndèye Fatou Diop · David Malec

SCÉNARISTES

Ndèye Fatou Diop · David Malec

DESSINS

Réalisés avec l'assistance de l'IA à partir de prises de vues réelles

LA GRADUATE SCHOOL EA²GLE

intégrée au projet AMI-CMA PEGASE bénéficie d'une aide de l'Etat gérée
par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030
portant la **référence ANR-25-CMAS-0003**