



Une feuille de route opérationnelle pour l'évitement des traînées de condensation en Europe



Briefing T&E, à partir de l'étude commandée à to70
September 2026

Sommaire



01

**Traînée de
condensation et
évitement**



02

**Gestion du trafic
aérien : la clé pour
passer à l'échelle**



03

**Apprendre en
faisant : le rôle
essentiel des
essais**



04

**Feuille de route
pour l'évitement
des traînée en
Europe**



05

**Recommandations
au niveau
européen**

–

01

Traînées de condensation et évitement



L'impact climatique des traînées de condensation est très concentré sur quelques vols

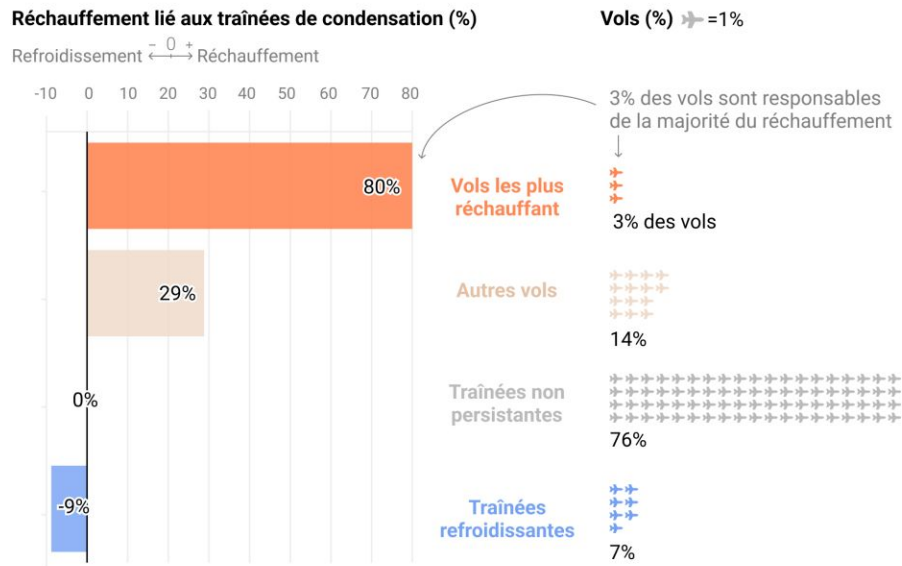
Un
réchauffement
similaire aux
émissions CO₂

Le réchauffement climatique est du même ordre de grandeur que celui des émissions CO₂, provoquant un **réchauffement immédiat** mais qui dépend fortement de où et quand l'avion vole.

3% des vols
provoquent
80% du
réchauffement
lié aux traînées

Le réchauffement des traînées est **très concentré**. Cibler un petit nombre de vols peut délivrer un impact climatique significatif.

3% des vols à l'origine de 80 % du réchauffement lié aux traînées de condensation



Source : Teoh et al. (2024). Note : Le réchauffement lié aux traînées de condensation se répartit différemment selon les régions. En Europe, 5 % des vols entraînent 80 % du réchauffement lié aux contrails.

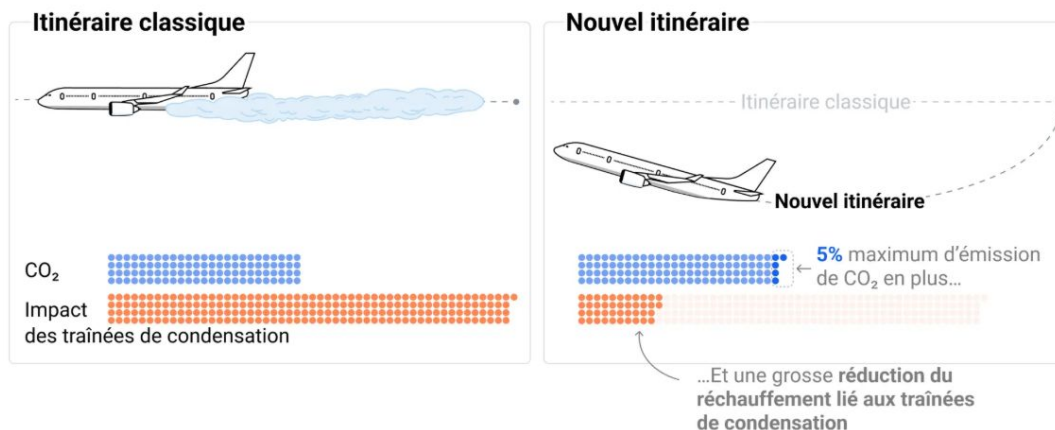
La solution la plus prometteuse : l'évitement des traînées de condensation

Des changements de 4000 pieds (~1200 m) ou moins sont suffisants pour réduire le réchauffement des traînées de condensation

Les traînées se forment dans des zones atmosphériques froides et humides, qui sont fines. Des changements entre 2000 et 4000 pieds permettent d'éviter les régions les plus critiques pour la formation de traînées. Cibler les traînées les plus réchauffantes garantit que **le réchauffement évité surpasse largement les émissions CO2 additionnelles liées au changement d'altitude.**

Rerouter les vols pour éviter les contrails : un avantage considérable pour le climat

● Emissions CO₂ ● Réchauffement lié aux traînées de condensation



Source : Teoh et al. (2024), Frías et al. (2024), T&E. Note : Simulation de l'impact climatique net de l'évitement des traînées de condensation pour un vol faisant partie des 5 % de vols européens qui génèrent 80 % du réchauffement dû aux traînées de condensation. Hypothèses : GWP100 utilisé pour comparer l'impact climatique du CO₂ et des traînées de condensation. Le réchauffement des traînées de condensation est réduit de 80 %. La consommation supplémentaire de carburant de 5 % est une estimation très prudente - la consommation supplémentaire de carburant dans les essais en vol et les simulations est de 2 % ou moins.

—

02

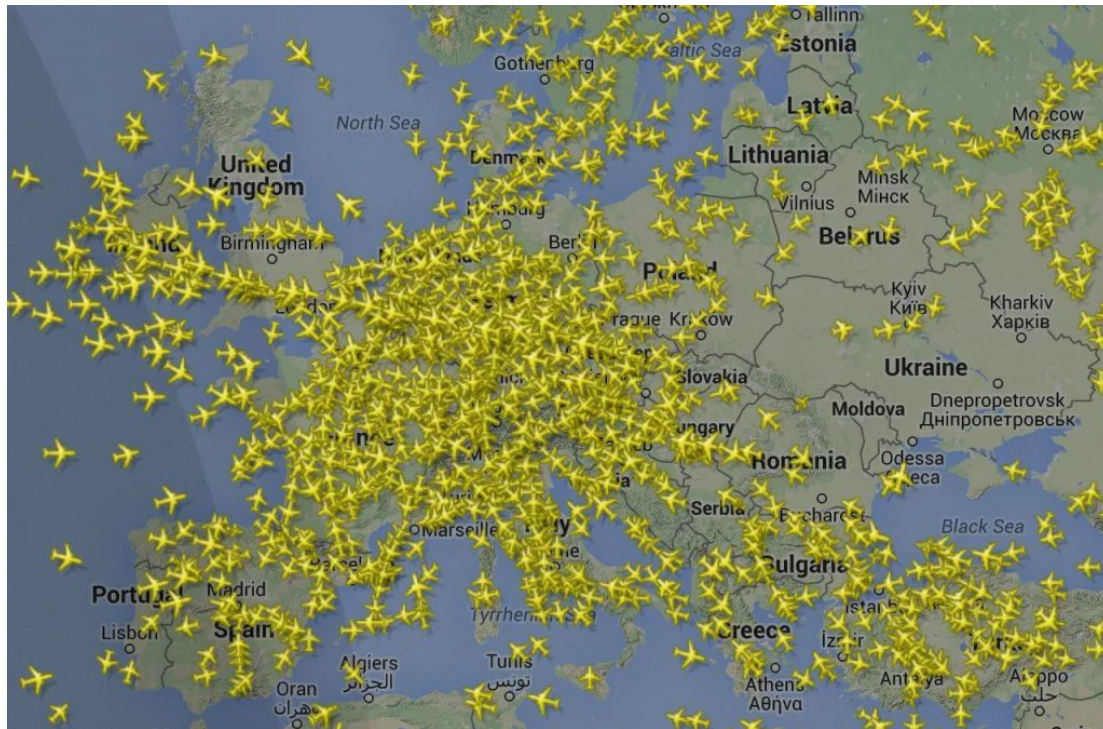
Gestion du trafic aérien : la clé pour passer à l'échelle



Passer d'évitement vol par vol à un espace aérien entier requiert des efforts coordonnés

La gestion du trafic aérien est la clé pour étendre à plus grande échelle la réduction des traînées de condensation

Des essais ont démontré qu'il était possible d'éviter la formation de traînées de condensation vol par vol. Cependant, pour obtenir de réels bénéfices climatiques, cette réduction doit être étendue à l'ensemble de l'espace aérien. Les acteurs de la gestion du trafic aérien (contrôleurs aériens, gestionnaires de réseau) joueront un rôle essentiel.



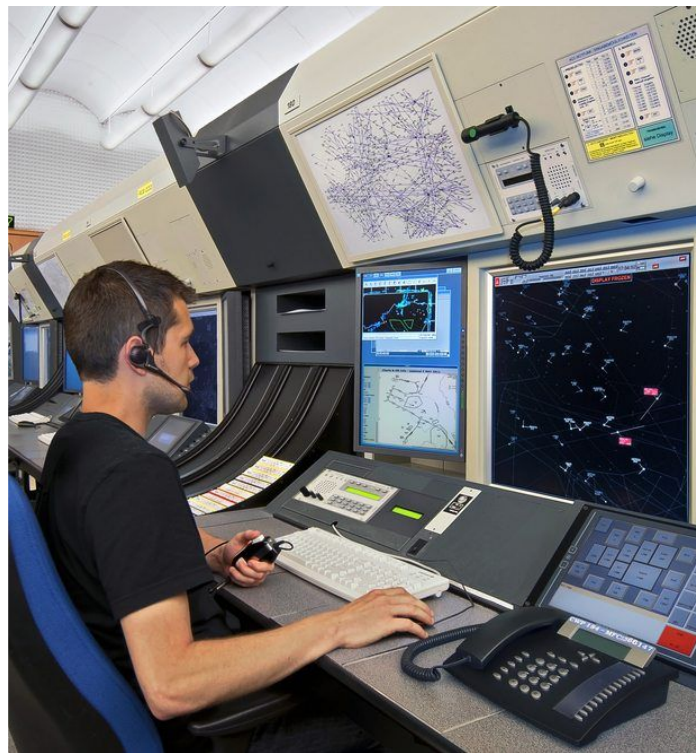
Qui est qui dans la gestion du trafic aérien (I)

Prestataires de services de navigation aérienne (ANSP)

Les ANSP gèrent les aéronefs en vol et sur la zone de manœuvre des aéroports, et sont les détenteurs légitimes de cette responsabilité. Les ANSP déterminent la disponibilité des routes, les trajectoires de vol, les niveaux de vol autorisés et les horaires de vol. Les deux rôles principaux sont :

Contrôleurs du trafic aérien (ATCO) : le principal service fourni par les ANSP. Les ATCO coordonnent l'ensemble du trafic aérien pour une exploitation sûre et efficace. Ils gèrent les avions en croisière, mais aussi lors des phases de montée et de descente, et autour des aéroports.

Gestionnaires de flux (FM) : ils assurent l'interface entre les ATCO locaux, les compagnies aériennes, les aéroports et le gestionnaire de réseau, pour les services de gestion des flux et de la capacité du trafic aérien.

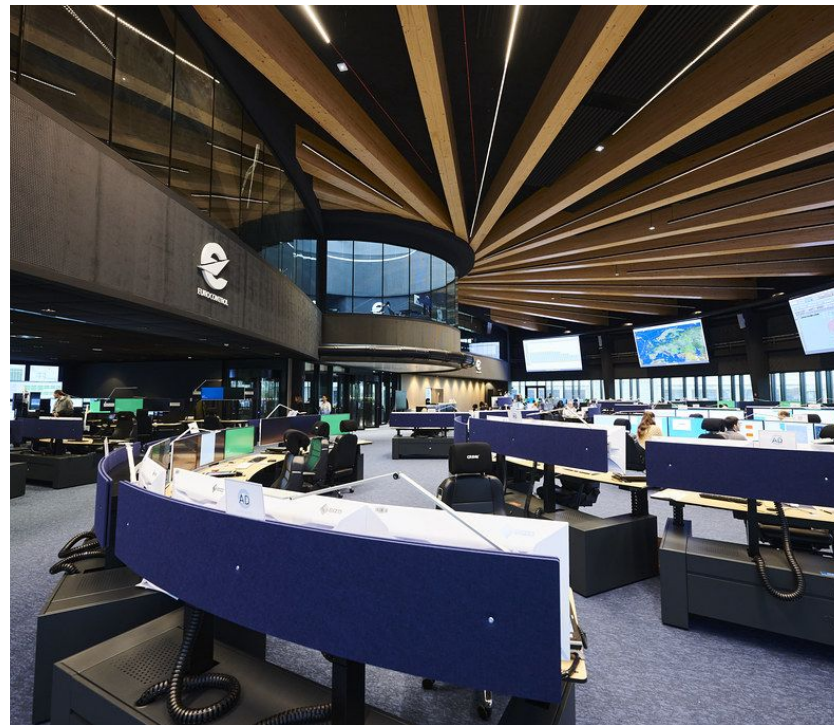


Qui est qui dans la gestion du trafic aérien (II)

Gestionnaire de réseau (NM)

Le **gestionnaire de réseau (NM)** assure un rôle de **coordination entre les ANSP nationaux ou régionaux**, en particulier en Europe où l'espace aérien est segmenté. Le NM gère les fonctions de réseau (conception de l'espace aérien, gestion des flux) ainsi que les ressources rares (allocations de codes transpondeur, fréquences radio) et la répartition des coûts. Les objectifs généraux du NM sont de soutenir l'exécution des fonctions de réseau et de contribuer à l'amélioration continue des opérations de réseau et de la performance globale du réseau.

Eurocontrol est le gestionnaire de réseau en Europe.



Qui est qui dans la gestion du trafic aérien (III)

Compagnies aériennes

Les compagnies aériennes sont responsables de la **planification initiale et de l'exécution des routes de vol**. Les principaux acteurs impliqués dans le processus ATM sont :

Dispatchers : ils élaborent les plans de vol pour tous les vols et les coordonnent avec le NM et les pilotes.

Pilotes : ils sont responsables de l'exécution du vol en toute sécurité. Leur responsabilité comprend la fourniture de carburant suffisant et l'évitement de la météo défavorable, mais aussi l'arrivée dans le temps imparti et la communication en vol avec le contrôle aérien. Ils contrôlent l'acheminement une fois les moteurs allumés.



—

03

Apprendre en faisant : le rôle essentiel des essais



Apprendre par la pratique : le rôle des essais dans l'évitement des traînées



Réduire l'incertitude scientifique

Comparer les prévisions météo aux observations réelles pour clarifier les compromis entre réchauffement des traînées et consommation de carburant.



Valider la faisabilité opérationnelle

Mesurer l'impact sur la capacité de l'espace aérien et déterminer si les modifications de trajectoire sont préférables avant ou pendant le vol.



Systèmes & standardisation

Tester les logiciels et contribuer à la création des protocoles ATM.



Développer l'expertise humaine

Former les dispatchers, contrôleurs aériens et pilotes, garantissant la préparation opérationnelle pour une mise en œuvre à l'échelle.



Politiques fondées sur des preuves

Fournir des données empiriques pour le futur cadre réglementaire.

Différentes stratégies d'évitement des traînées sont testées

Pilotage	Pré-tactique - avant le départ du vol	Tactique - pendant le vol
Mené par la compagnie - Pilote ou régulateur	Le dispatcher prépare un plan de vol pour éviter les zones de traînées et informe le pilote. Le plan de vol est soumis comme d'habitude au gestionnaire de réseau.	Le pilote reçoit des informations en temps réel pour changer de route afin d'éviter une zone génératrice de traînées et demande une modification à l'ATC.
Mené par le contrôle aérien	Le gestionnaire de réseau intègre les zones de traînées dans son logiciel de planification de vol et ajuste les plans de vol reçus des dispatchers, qui l'acceptent ensuite.	Le contrôle aérien restreint l'espace aérien dans les zones de traînées. Décision finale selon les contraintes de sécurité, capacité ou économie.
Combinés	Le régulateur prépare un plan de vol pour éviter les zones de traînées, et le NM ajuste l'ensemble des plans de vol pour maximiser l'efficacité du réseau.	Le pilote et l'ATC sont tous deux informés de la zone de traînées, et chacun peut demander un déroutement pour l'éviter.

MUAC & DLR (2021) : essai tactique dirigé par l'ATM ciblant les vols de nuit. 200 vols réorientés sur 1 an.

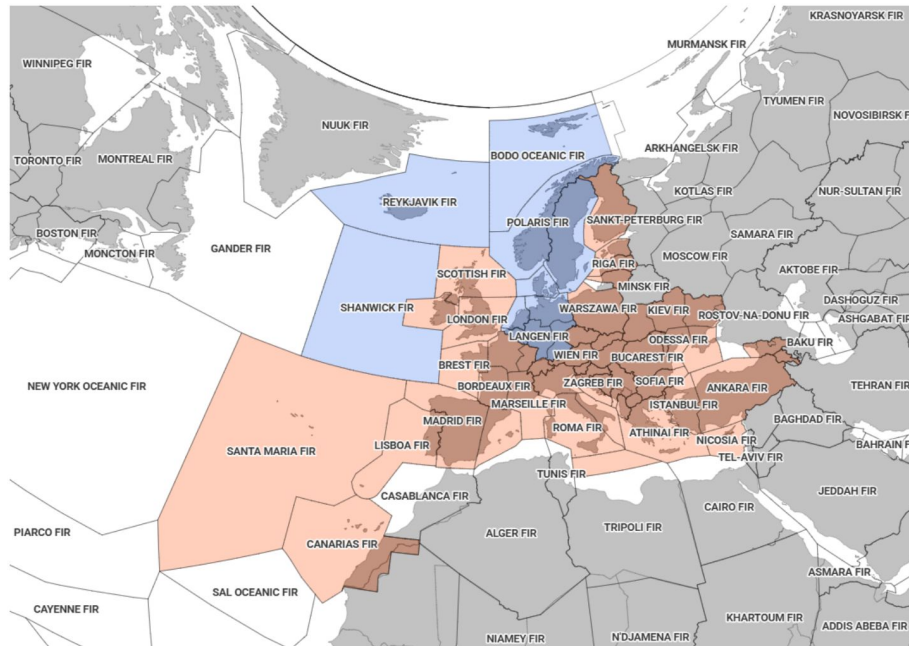
MUAC & Google (2024) : approche tactique dirigée par l'ATM similaire à l'essai de 2021, facilitée par un outil développé par Google. 500 vols réorientés.

D-KULT (2024-2025) : pré-tactique, mené par les compagnies aériennes et facilité par l'ANSP allemand. 108 vols réorientés.

CONCERTO (2024-2026) : projet pré-tactique dirigé par l'ATM avec essais fantômes - aucun vol réel effectué.

CICONIA (2024-2026) : projet global testant des approches dirigées à la fois par l'ATM et les compagnies aériennes, avec plus de 50 vols réorientés. Les objectifs opérationnels et scientifiques ont été couverts.

Lower flight information regions (FIRs) - Eurocontrol FIRs in **orange** - Eurocontrol FIRs participating in trials in **blue**



Source: T&E and To70 (2026), based on Eurocontrol and Open Aviation • Using Albers equal-area projection

Enseignements scientifiques : des lacunes subsistent, mais les gains climatiques sont clairs dans certaines situations

Aspects scientifiques

- La localisation des ISSR est raisonnablement bien prédite
- Les prévisions sont stables jusqu'à 24 heures avant le vol
- Les dimensions des ISSR sont généralement surestimées
- Leur épaisseur reste relativement faible : des déviations verticales de 2000 - 4000 pieds suffisent en principe à éviter les zones d'ISSR les plus réchauffantes

Les connaissances actuelles suffisent pour agir dans des situations spécifiques (ex. vols de nuit)



Enseignements opérationnels : un faible trafic offre la possibilité d'éviter les traînées de condensation

Aspects opérationnels

- Les essais tactiques indiquent un faible impact sur la capacité à faible trafic, et environ 20 % de réduction de capacité en période de pointe
- L'automatisation est essentielle pour une mise en œuvre à grande échelle
- La coordination, le partage de données et le développement de procédures sont critiques

L'évitement des traînées de condensation est gérable dès aujourd'hui dans des situations spécifiques (ex. zones à faible trafic)



Les nuits hivernales sont un point de départ idéal pour déployer l'évitement : peu de trafic, un réchauffement important

Un réchauffement concentré sur les mois de faible activité

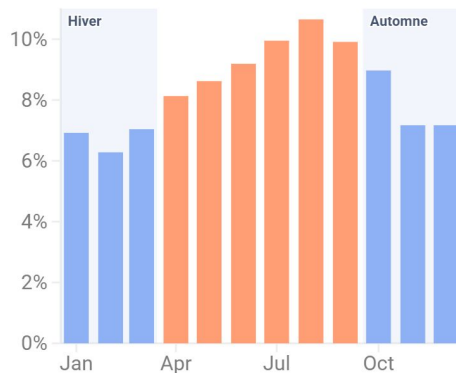
- En 2019, les vols réalisés pendant la nuit, durant les mois d'automne et d'hiver, représentaient 25% du réchauffement lié aux traînées de condensation en Europe, mais seulement 10% du trafic.
- En évitant les traînées de condensation lorsque le trafic aérien est inférieur à 60 % de son pic annuel, environ 70 % du réchauffement dû aux traînées de condensation en Europe aurait pu être évité en 2019.

Les vols réalisés pendant les mois les plus froids génèrent beaucoup plus de traînées réchauffantes

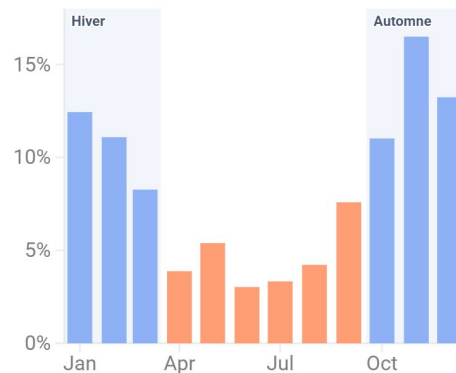
Distance totale parcourue et réchauffement lié aux traînées de condensation, par mois

Espace aérien européen ▼

Distance parcourue en vol (% du total annuel)



Réchauffement lié aux traînées (% du total annuel)

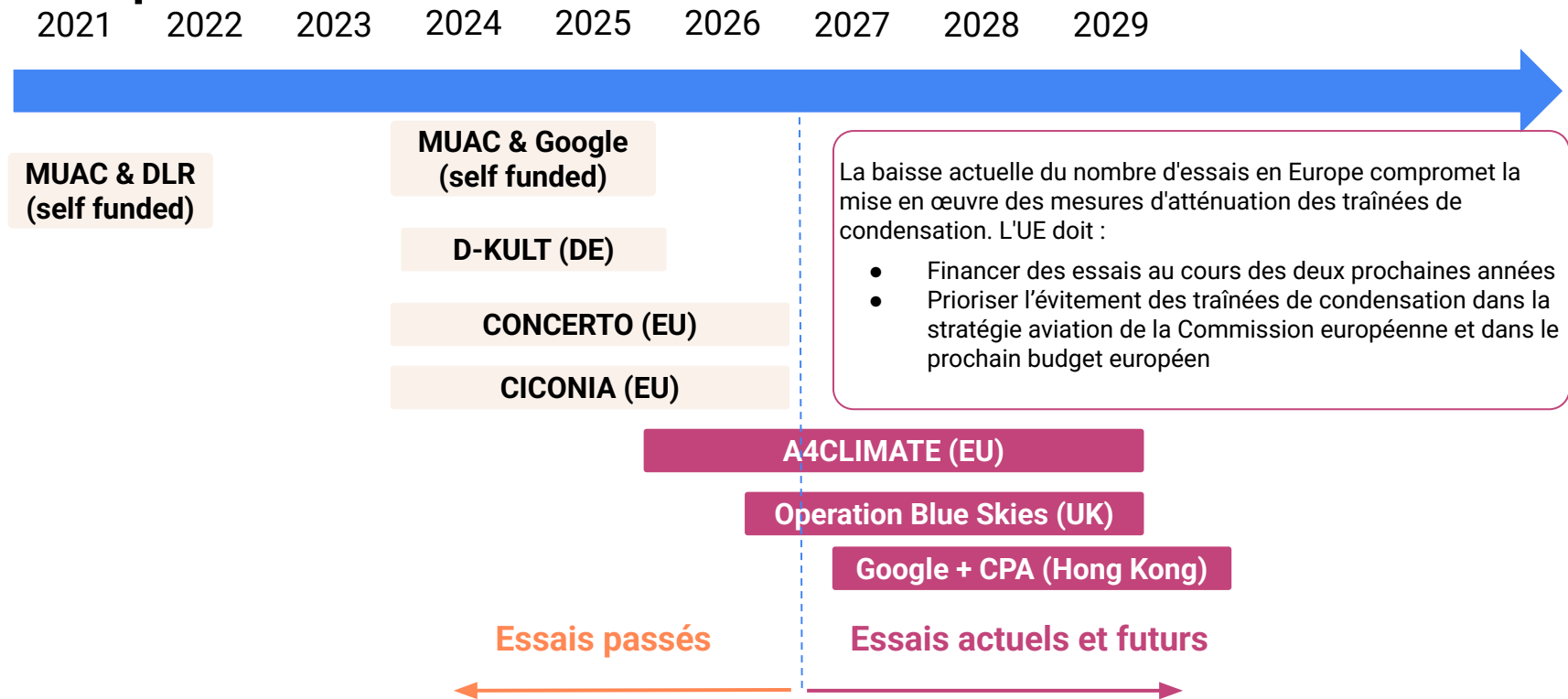


Source: T&E (2025), à partir de Teoh et al. (2024) pour 2019, recalculé par ICL avec une nouvelle version de pycontrails (v0.54.8)

De nombreux défis opérationnels subsistent...

	Outillage	Procédures
Défis contrôle aérien	Absence d'intégration de l'évitement des traînées - charge de travail importante	Absence de procédures de gestion aérienne standardisées intégrées aux procédures existantes. Besoin de formation du personnel.
Défis Compagnies	Absence d'intégration de l'évitement des traînées - charge de travail importante	Absence de procédures régulateurs et pilotes intégrées aux procédures existantes. Besoin de formation. Surconsommation potentielle de carburant
Défis de coordination	Manque d'outils d'évitement des traînées interopérables basés sur : • Compromis CO2 / CO2e • Données météo • Modèles et métriques	Communication et procédures communes entre compagnies (régulateurs, pilotes) et ATM (ANSP, contrôleurs, gestionnaire de réseau)

... alors que très peu d'essais cliniques sont prévus en Europe dans un avenir proche



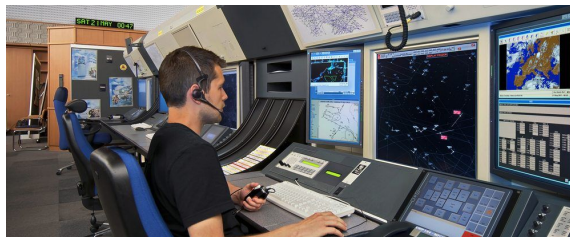
À quoi ressembleront des essais efficaces



Essais menés par les compagnies

Objectifs principaux : développer le volet compagnies aériennes de l'atténuation des traînées (outils compagnies, procédures régulateurs et pilotes)

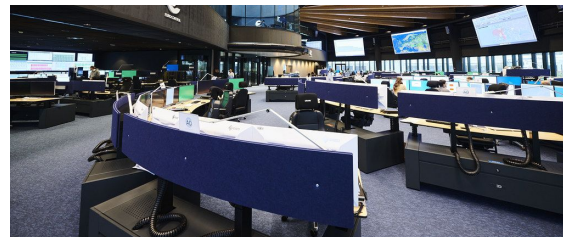
Coûts estimés : 0,5-1 M€ par compagnie, liés aux coûts de personnel et de carburant



Essais menés par les ANSP

Objectifs principaux : développer les capacités d'évitement des traînées des ANSP (outils, procédures ANSP)

Coûts estimés : jusqu'à 4-7 M€, liés au développement des outils ANSP (coût unique pour chaque ANSP)



Essais combinés

Objectifs principaux : coordination de tous les acteurs, et développement du rôle de coordination du NM

Coûts estimés : jusqu'à 10-15 M€, liés au développement des outils ANSP et NM (coût unique pour chaque ANSP et pour le NM) et aux coûts de carburant

—

04

Feuille de route pour l'évitement des traînées en Europe



Feuille de route pour déployer l'évitement des traînées de condensation

Actions opérationnelles

Actions politiques

2026

2027

2028

2029

2030

2031

2032

Essais à moyenne échelle

Essais à grande échelle

Financement des essais

Incitations à l'évitement des traînées dans l'EU ETS

Outils d'évitement des traînées pour les compagnies aériennes

Outils d'évitement des traînées pour le gestionnaire de réseau et les ANSP

KPI climatiques
SES II & RP5

Capacité ATC et évaluation des KPI

Mise en responsabilité du gestionnaire de réseau et extension de son rôle pour la coordination de l'évitement des traînées

Procédures paneuropéennes hybrides d'évitement des traînées

Déploiement progressif de l'évitement des traînées dans des zones à faible trafic, saisons et horaires spécifiques

—

05

Recommendations



2026-2029 : accélérer les essais et poser les bases de la future atténuation

100 M€ pour 10-15 essais à moyenne échelle afin de faire progresser les connaissances scientifiques et opérationnelles

- Essais combinés avec les ANSP, les compagnies aériennes et le gestionnaire de réseau, plus essais individuels des compagnies et des ANSP
- Chaque essai impliquerait des centaines de vols (comme CICONIA)
- Une partie des fonds sera utilisée pour des outils, préparant le terrain pour des essais à grande échelle et le déploiement opérationnel

Intégrer l'évitement des traînées de condensation dans la stratégie aéronautique et le prochain CFP, créer des incitations dans l'EU ETS et développer des KPI climatiques pour les ANSP et la prochaine nomination du NM

- Préparer le terrain pour des essais à grande échelle après 2029 et pour un déploiement opérationnel au cours de la prochaine décennie

2029-2032+ : essais à grande échelle et déploiement de métriques

Lancer des essais à grande échelle pour tester les procédures opérationnelles et combler les lacunes scientifiques restantes

- Les essais impliqueraient des milliers de vols, sur toutes les saisons

Intégration et mise à l'échelle de l'évitement des traînées dans la politique ATM

- Développer des normes opérationnelles au niveau de l'UE pour l'évitement des traînées, introduire le KPI climatique dans certains espaces aériens

Déploiement opérationnel progressif de l'évitement des traînées

- Commencer dans les régions et périodes à faible trafic, et étendre progressivement aux régions et saisons à plus fort trafic

Conclusion

Le problème

Les traînées de condensation réchauffent la planète autant que les émissions de CO2 de l'aviation

La solution

L'évitement des traînées de condensation est le levier d'atténuation le plus efficace disponible aujourd'hui

Le défi

Pour obtenir des bénéfices significatifs, l'évitement des traînées doit être déployé et coordonné à l'échelle de régions entières

L'évitement des traînées de condensation pourrait être généralisé dès 2032 pour les périodes de faible activité.

Les essais d'évitement à grande échelle sont un passage obligé pour une industrialisation maîtrisée.

Recommandations pour la France

- Porter des positions favorables à l'évitement des traînées de condensation au niveau européen : "quotas traînées de condensation" dans la révision du marché carbone, extension du champ d'application du système de reporting des effets hors-CO2 dit "MRV".
- Poursuivre les efforts de recherche sur les traînées de condensation (Climaviation) et se positionner favorablement au financement européen d'essais à grande échelle.
- Organiser des essais d'évitement par le contrôle aérien français (DSNA).

Acknowledgements

Briefing publié : september 2026

Contributeurs : Carlos López de la Osa García, Vincent de Haes, Diane Vitry, Jérôme du Boucher, Erin Vera

Rédacteur responsable : William Todts, Executive Director
© 2026 European Federation for Transport and Environment
AISBL

Pour citer ce briefing

T&E (2026). Briefing on To70's report "Contrail avoidance roadmap"

Avertissement

Les conclusions et les opinions exprimées dans la présente publication relèvent de la seule responsabilité des auteurs mentionnés ci-contre.

Plus d'information

Carlos López de la Osa
carlos.lopez@transportenvironment.org

www.transportenvironment.org | [Bluesky](#) | [LinkedIn](#)