



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**Conseil général de l'Environnement
et du Développement durable**

Comparaisons européennes de ponctualité aérienne selon les compagnies à l'arrivée et selon les aéroports de départ en 2019, et éclairage 2020/s1 2021

Travaux de Cindy Chapuis (Polytech Tours), stagiaire à l'AQST,
coordonnés par Alexandre Barbusse (AQST)

Février 2022

Méthodologie

Objectif et méthode

- ❑ Objectif : comparer les performances de ponctualité du transport aérien :
 - Selon l'aéroport de départ en Europe
 - A l'arrivée selon la compagnie aérienne (UE des 27, OCDE et BRICS)

- ❑ A cet effet ont d'abord été constituées des bases de données contenant des indicateurs de retard des vols au départ par aéroport et à l'arrivée par compagnie aérienne

- ❑ Les performances des aéroports français et des compagnies aériennes françaises ont ensuite été comparées au sein d'échantillons de typologies similaires : nombre de passagers de l'aéroport, types de hubs, types de compagnies, nombre de vols réalisés par la compagnie, etc.

- ❑ La comparaison a été réalisée principalement sur les performances de ponctualité de l'année 2019 (année de référence avant la crise sanitaire), puis un éclairage a été apporté sur l'évolution de la ponctualité liée à la crise sanitaire en 2020, et au 1^{er} semestre 2021 lorsque les données de l'année 2020 n'étaient pas disponibles

Objectif et méthode

- La comparaison a été réalisée principalement sur les performances de ponctualité de l'année 2019 (année de référence avant la crise sanitaire), puis un éclairage a été apporté sur l'évolution de la ponctualité liée à la crise sanitaire en 2020, et au 1^{er} semestre 2021 lorsque les données de l'année 2020 n'étaient pas disponibles

- Il convient toutefois d'être particulièrement prudent sur l'interprétation de l'évolution de la ponctualité aérienne en 2020 et au 1^{er} semestre 2021 par rapport aux niveaux de 2019 en raison tant de la différence de volumétrie du trafic que de saisonnalité retenue pour chacune des trois périodes :
 - L'année 2019 demeure une année de référence avec un trafic réparti sur l'ensemble de l'année
 - L'année 2020 est pour moitié composée d'un trafic opéré avant la crise sanitaire (d'après la DGAC : janvier à mi-mars 2020 : 43% des vols, 55% des passagers)
 - D'après la DGAC, le 1^{er} semestre 2021 hors janvier correspond en termes de trafic à moins de 15% des vols de l'année 2019 et à moins de 8% des passagers

Constitution de la base de données des aéroports

- ❑ A partir des **données Eurocontrol** suivantes par aéroports européens et assimilés :
 - codes OACI, taux de retard mensuels et journaliers, retards moyens journaliers à différents seuils
 - ❑ Calcul du retard moyen annuel des vols retardés de plus de 15 minutes au départ par aéroport
 - ❑ Calcul du taux annuel de retard au départ à 15 minutes par aéroport
 - ❑ Calcul d'un Indice de retard à 15 minutes au départ par aéroport
- = retard moyen par aéroport pour les vols en retard de plus de 15 minutes * taux de retard à 15 minutes par aéroport

Constitution de la base de données des aéroports

□ Classification des aéroports

- Selon le nombre de passagers d'après l'Union des Aéroports Français et Francophones Associés :
 - Les **grands aéroports** : plus de 5 millions de passagers par an
soit pour les aéroports français : *Nice-Côte d'Azur, Marseille-Provence, Toulouse-Blagnac, Lyon Saint-Exupéry, Bâle-Mulhouse, Bordeaux-Mérignac, Nantes-Atlantique*
 - Les **aéroports régionaux** : entre 1 million et 5 millions de passagers par an
soit pour les aéroports français : *Beauvais-Tillé, Lille-Lesquin, Montpellier-Méditerranée, Ajaccio-Campo Dell'oro, Bastia-Poretta, Strasbourg-Entzheim, Brest-Guipavas, Biarritz-Bayonne-Anglet*
 - Les **aéroports de proximité** : entre 100 000 et 1 million de passagers par an
soit pour les aéroports français : *Pau-Pyrénées, Rennes-St-Jacques, Figari-Sud-Corse, Hyères-Le Palyvestre, Tarbes Lourdes Pyrénées, Perpignan-Rivesaltes, Clermont-Ferrand-Auvergne, Calvi-Sainte-Catherine, Grenoble-Saint-Geoirs, Caen-Carpiquet, Limoges-Bellegarde, Bergerac-Roumanière, Metz Nancy-Lorraine, La Rochelle-Ile De Ré, Nîmes-Garons, Chambéry - Savoie-Mont-Blanc, Tours Val De Loire, Deauville-Saint-Gatien.*

Constitution de la base de données des aéroports

□ Classification des aéroports :

- Selon la DGAC* pour les « hubs », plateformes de correspondances de nombreux vols et privilégiées pour la ou les compagnies qui en font leurs bases de transit et d'exploitation :
 - Les **hubs majeurs** :
« Ces plateformes présentent l'offre en siège la plus importante, mais également la plus diversifiée, avec des liaisons vers toutes les régions de destination. Il s'agit des hubs de compagnies de premier plan, et du plus gros aéroport des pays [...] »
-> soit pour les aéroports français : *Paris-Charles De Gaulle*
 - Les **hubs secondaires** :
« A la différence des hubs majeurs, ces plateformes ne sont pas, ou très peu, reliées à certains marchés, bien que disposant d'une offre long-courrier conséquente vers plusieurs continents [...] Desservant de grandes métropoles, ces plateformes bénéficient de zones de chalandises étendues [...] »
-> pas d'aéroports français dans cette catégorie
 - Les **hubs spécialisés** :
« Ces plateformes de taille plus modeste sont focalisées sur un marché long courrier particulier, souvent du fait de la compagnie basée [...] L'orientation vers un marché précis, souvent permise par un positionnement géographique favorable, peut être la conséquence de liens particuliers, historiques notamment [...] ou résulter du développement ciblé de l'offre d'une compagnie aérienne »
-> soit pour les aéroports français : *Paris-Orly*, classé par la DGAC comme hub spécialisé en raison d'un trafic spécialisé dans les liaisons intérieures, les liaisons moyen-courriers avec l'Afrique du Nord, et les liaisons long-courriers avec l'outre-mer, notamment avec les Antilles.

* Panorama des hubs européens et spécialisation géographique, DGAC, 2019, disponible [en ligne](#) (consulté le 11 janvier 2022)

Constitution de la base de données des aéroports

- ❑ Panels complets présentés pour les hubs (catégories comptant moins de 25 aéroports)
- ❑ Sélection des aéroports présentés pour les catégories comptant **plus de 25 aéroports** :
 - Tous les aéroports de France métropolitaine de la catégorie, sauf pour les aéroports de proximité (seuls les 3 aéroports français les plus fréquentés de cette catégorie ont été retenus pour plus de lisibilité : *Pau-Pyrénées, Rennes-St-Jacques, Figari-Sud-Corse*)
 - Tirage au sort des aéroports hors de France

	Hub majeur	Hub secondaire	Hub spécialisé	Grand aéroport régional (hors hub)	Aéroport régional	Aéroport de proximité
Nombre d'aéroports	5	8	7	70	83	82
<i>dont français</i>	1	0	1	7	8	18
Nombre d'aéroports retenus	5	8	7	18	23	20
<i>dont français</i>	1	0	1	7	8	3

Constitution de la base de données des compagnies aériennes

- ❑ A partir des données suivantes publiées par l'entreprise **Official Airline Guide** (OAG) :
 - code IATA, nom des compagnies, pays, taux d'annulation et taux de ponctualité mensuels, nombre de vols mensuels

- ❑ Calcul du nombre de vols en retard à 15 minutes à l'arrivée par mois puis par an par compagnie

- ❑ Calcul du nombre de vols réalisés par an par compagnie

- ❑ Calcul du taux de retard annuel moyen à 15 min à l'arrivée par compagnie
= nombre annuel de vols en retard à 15 min à l'arrivée / nombre annuel de vols réalisés

Constitution de la base de données des compagnies aériennes

□ Classification des compagnies aériennes :

- Distinction compagnies **low-cost** (à bas prix) et non-low-cost « **traditionnelles** »
- Selon le **nombre de vols réalisés** en 2019 :
 - Les compagnies à bas prix :
 - Moins de 10 000 vols annuels
 - Entre 10 000 et 100 000 vols annuels
 - Plus de 100 000 vols annuels
 - Autres compagnies « traditionnelles » :
 - Moins de 1000 vols annuels
 - Entre 1000 et 10 000 vols annuels
 - Entre 10 000 et 100 000 vols annuels
 - Entre 100 000 et 300 000 vols annuels
 - Plus de 300 000 vols annuels

Constitution de la base de données des compagnies aériennes

☐ Sélection des compagnies aériennes présentées :

- **Compagnies de l'UE des 27, de l'OCDE ou des BRICS** (242 compagnies étudiées provenant de 46 pays)
- Toutes les compagnies françaises sont présentées
- Panels complets pour les catégories comptant moins de 25 compagnies aériennes
- Pour les autres catégories, sélection aléatoire d'une compagnie aérienne sur 2 ou 3 par pays hors de France, de façon à obtenir un panel d'une vingtaine de compagnies

☐ Tableau de répartition pour les **compagnies non-low-cost « traditionnelles »** :

Nombre annuel de vols réalisés en 2019	Moins de 1 000	Entre 1 000 Et 10 000	Entre 10 000 Et 100 000	Entre 100 000 Et 300 000	Plus de 300 000
Nombre de compagnies aériennes	24	41	54	24	15
<i>dont françaises</i>	2	5	1	0	1
Nombre de compagnies sélectionnées	24	23	19	24	15

Constitution de la base de données des compagnies aériennes

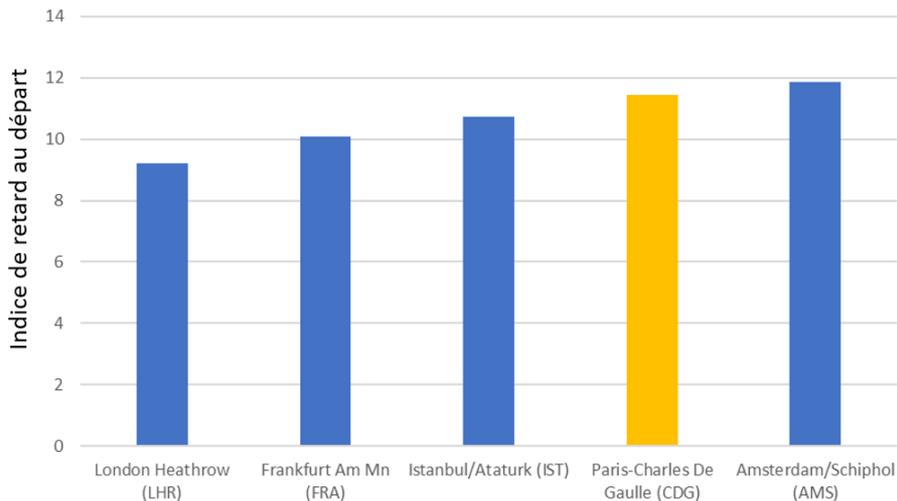
☐ Tableau de répartition pour les **compagnies low-cost** :

Nombre annuel de vols réalisés en 2019	Moins de 10 000	Entre 10 000 et 100 000	Plus de 100 000
Nombre de compagnies aériennes	13	47	24
<i>dont françaises</i>	2	2	0
Nombre de compagnies sélectionnées	13	25	24

Principaux résultats

Ponctualité des vols au départ des hubs en 2019

Indice de retard à 15 min au départ des hubs majeurs en 2019



Indice de retard à 15 min au départ des hubs spécialisés en 2019

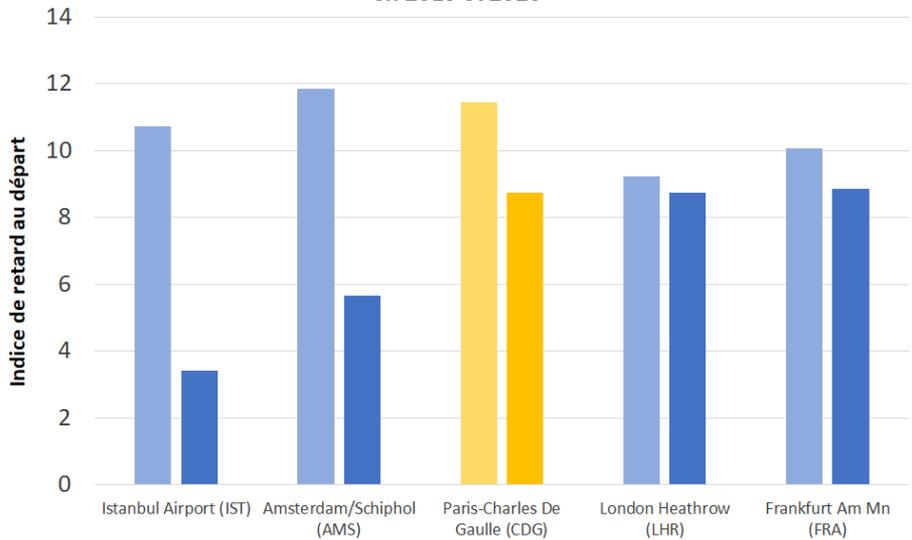


Les hubs français* sont les seconds moins bien classés de leurs catégories

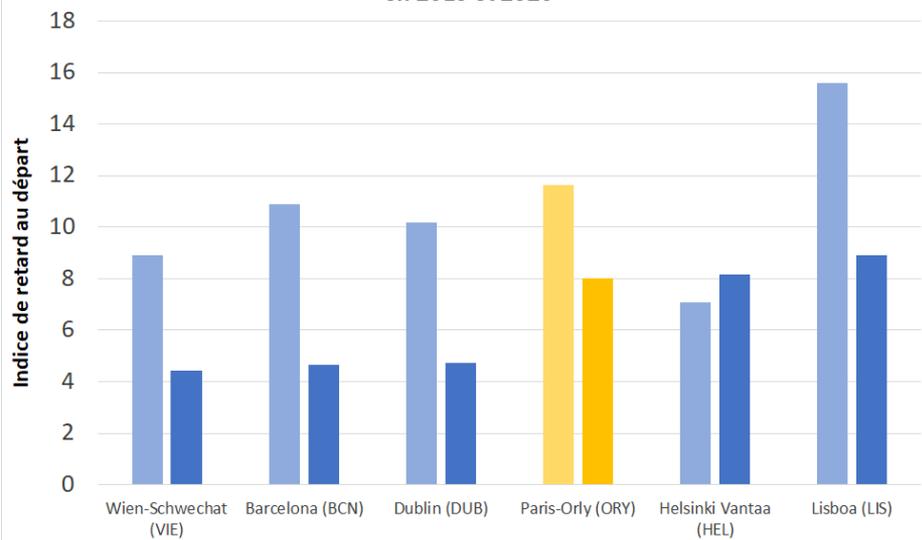
*Paris-Orly est classé par la DGAC comme hub spécialisé en raison d'un trafic spécialisé dans les liaisons intérieures, les liaisons moyen-courriers avec l'Afrique du Nord, et les liaisons long-courriers avec l'outre-mer

Ponctualité des vols au départ des hubs en 2020

Indice de retard à 15 min au départ des hubs majeurs en 2019 et 2020



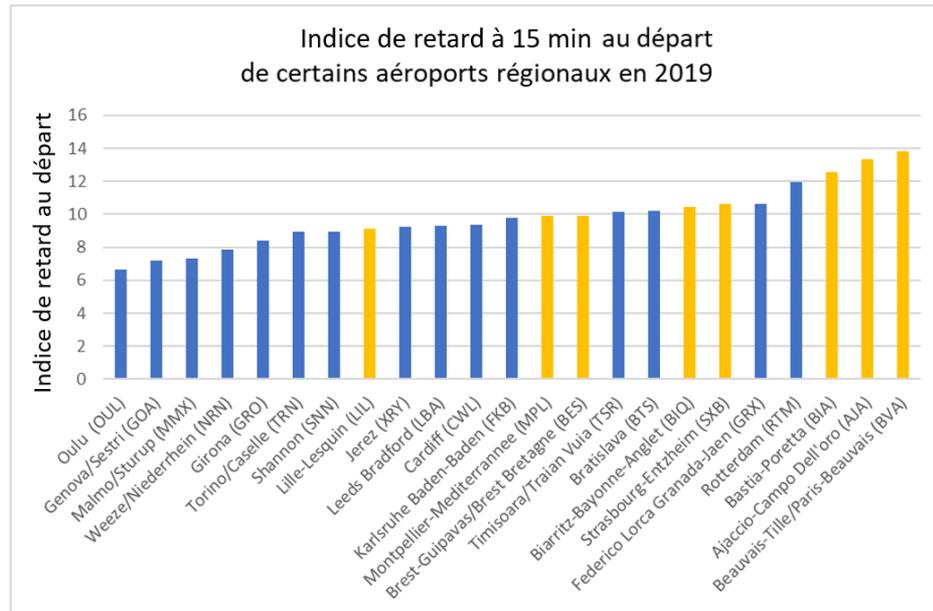
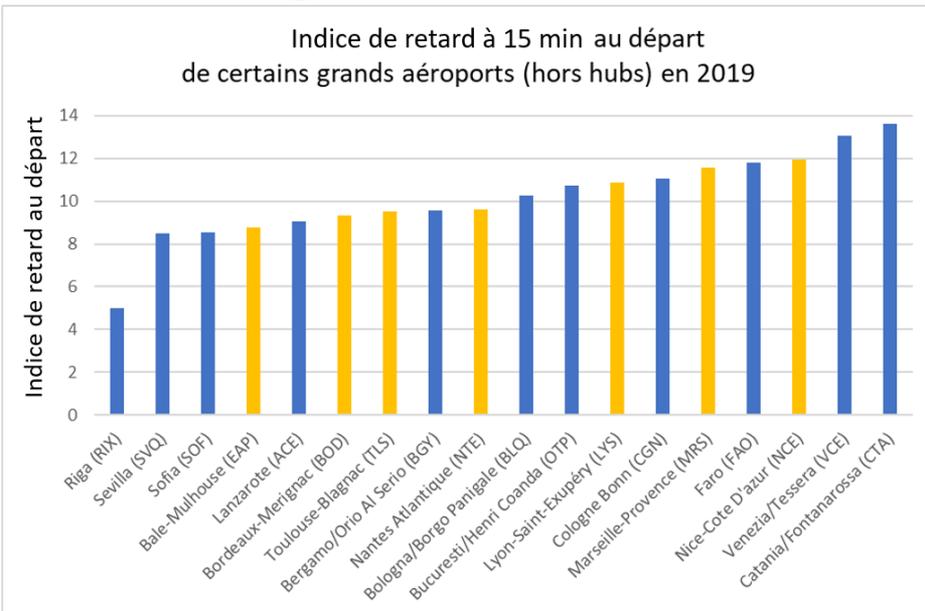
Indice de retard à 15 min au départ des hubs spécialisés en 2019 et 2020



En 2020, la baisse du trafic (fréquentation passagers et offre réalisée) a engendré des améliorations de ponctualité des vols au départ pour la quasi-totalité des hubs européens majeurs et spécialisés, dans des proportions variables toutefois

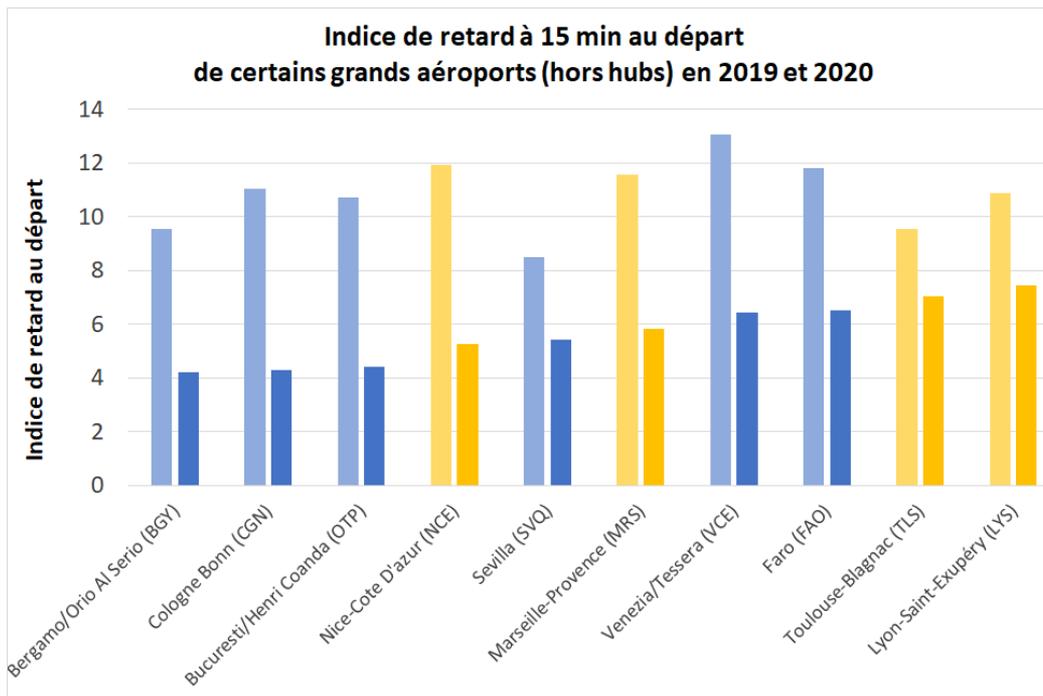
*Paris-Orly est classé par la DGAC comme hub spécialisé en raison d'un trafic spécialisé dans les liaisons intérieures, les liaisons moyen-courriers avec l'Afrique du Nord, et les liaisons long-courriers avec l'outre-mer

Ponctualité des vols au départ des grands aéroports et aéroports régionaux en 2019



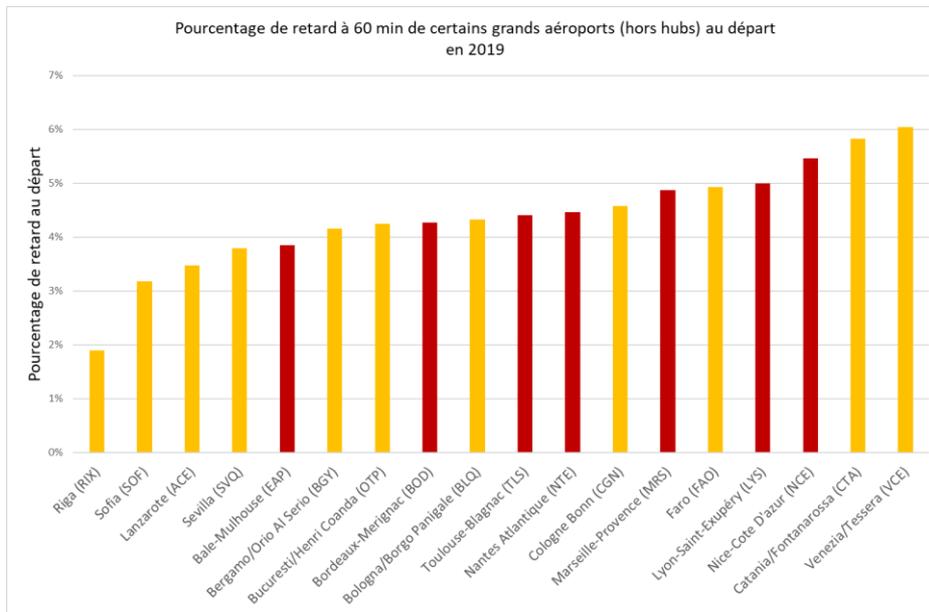
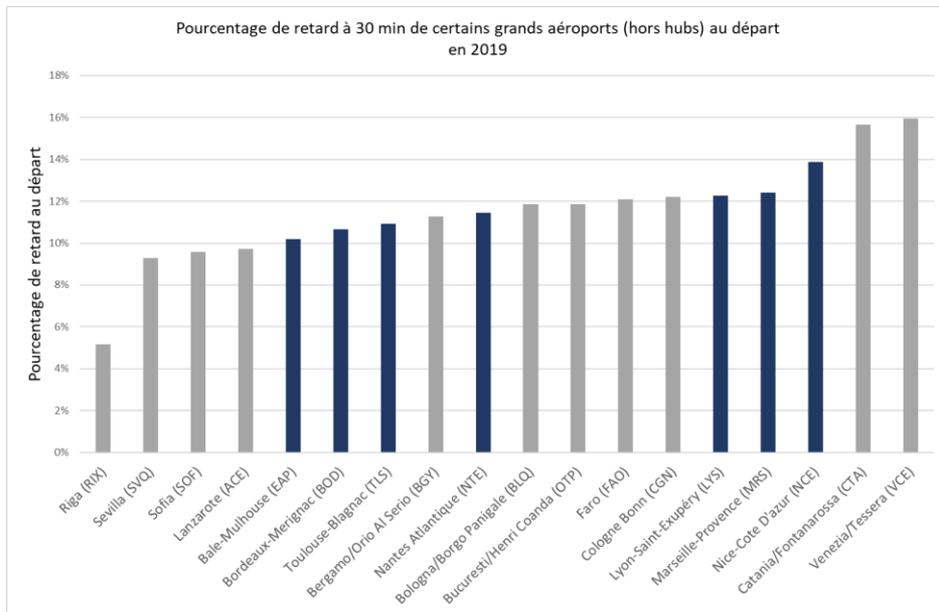
- ❑ Les **grands aéroports** français hors hubs se répartissent de manière hétérogène dans le panel retenu, **les plus fréquentés d'entre eux étant plutôt mal classés**
- ❑ Les **aéroports régionaux** français sont, à l'exception de Lille-Lesquin, classés en **2^{ème} moitié** du panel retenu. Les aéroports de Bastia, Ajaccio et Beauvais sont en queue de peloton

Ponctualité des vols au départ des grands aéroports retenus en 2020



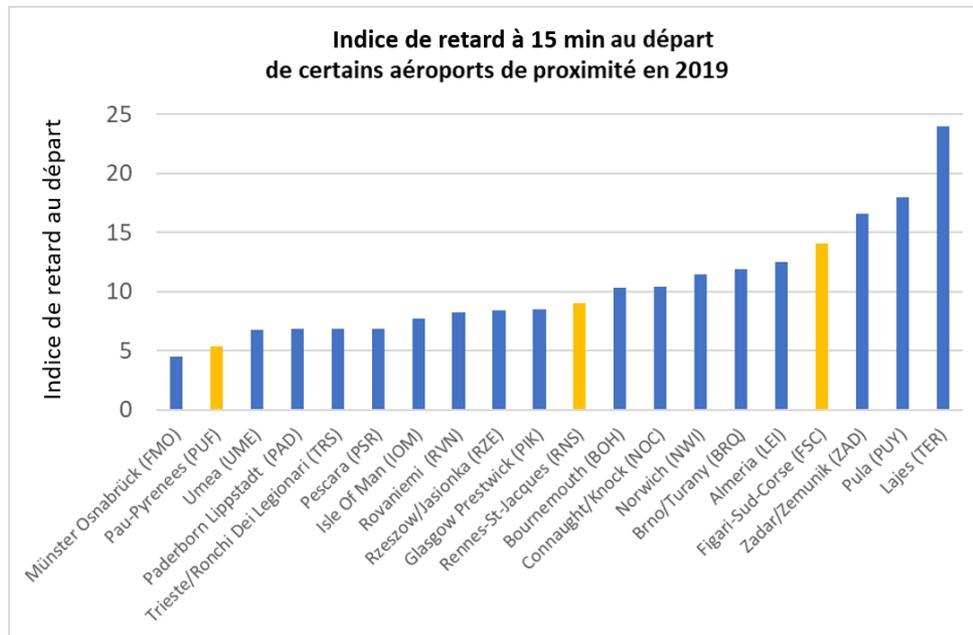
- ❑ La nette amélioration de ponctualité liée à la baisse du trafic engendrée par la crise sanitaire a concerné les vols au départ de tous les grands aéroports européens retenus, dans des proportions variables toutefois

Ponctualité des vols au départ des grands aéroports retenus en 2019



- ❑ Le classement évolue légèrement lorsqu'on étudie de plus gros retards
- ❑ Néanmoins, les **3 plus grands aéroports français hors hubs (Lyon, Marseille et Nice)** restent assez mal classés

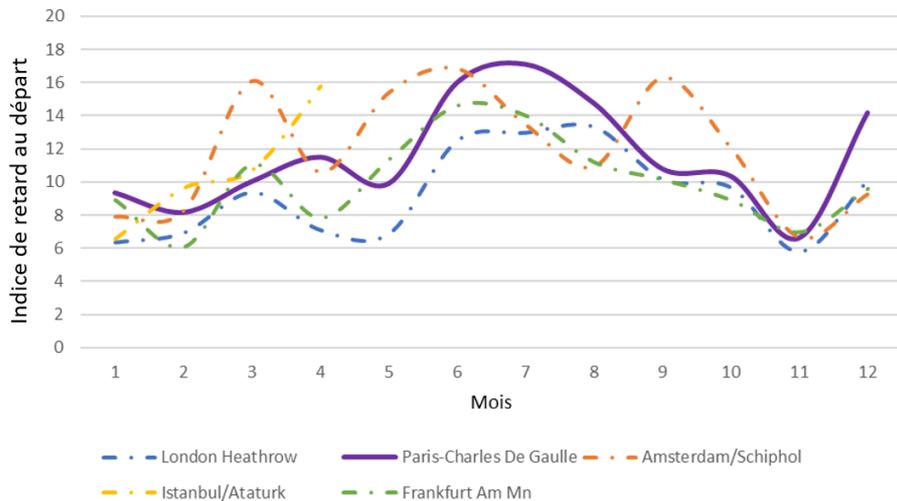
Ponctualité des vols au départ des aéroports de proximité retenus en 2019



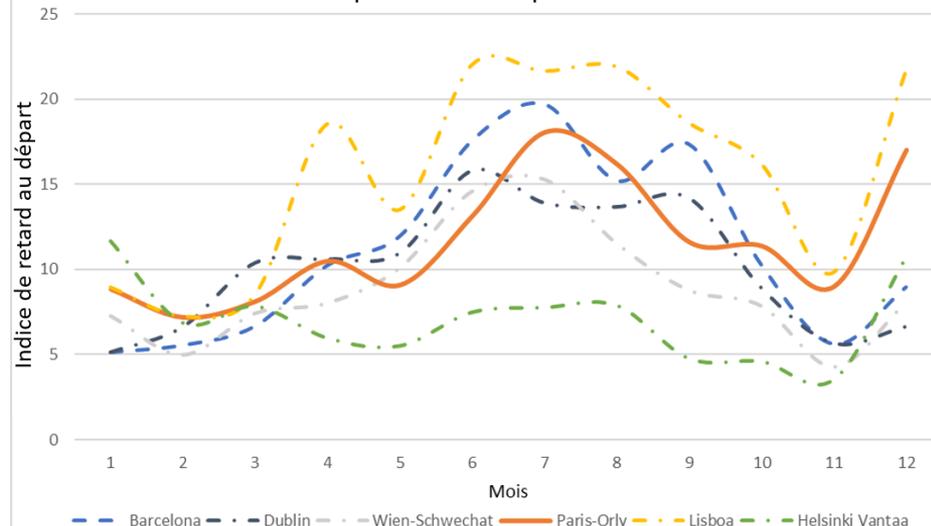
- ❑ Les 3 aéroports de proximité français les plus fréquentés occupent des positions très différentes dans le panel retenu : l'aéroport de Pau-Pyrénées est très bien classé, celui de Rennes-St-Jacques est en position médiane, et celui de Figari-Sud-Corse est mal classé

Saisonnalité de la ponctualité des vols au départ des hubs en 2019

Variation mensuelle de l'indice de retard à 15 min au départ des hubs majeurs en 2019



Variation mensuelle de l'indice de retard à 15 min au départ des hubs spécialisés en 2019

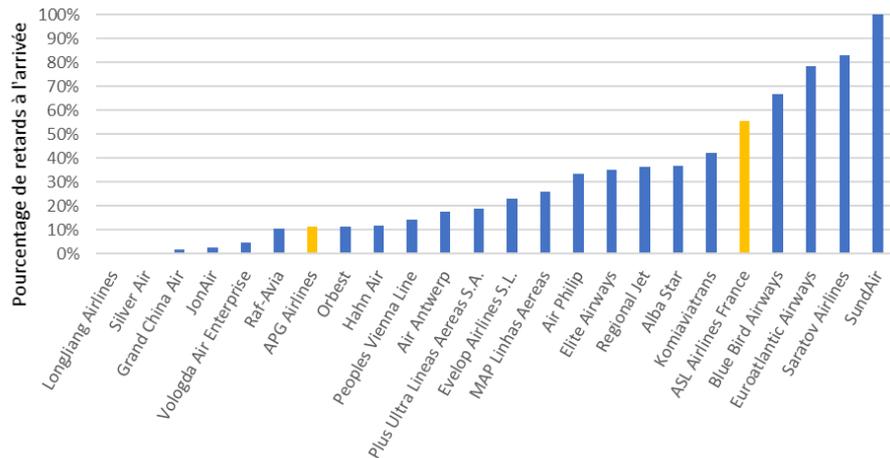


En tendance, on observe une **dégradation** de la ponctualité commune à plusieurs hubs européens pendant la saison **estivale**, ainsi qu'en **décembre**.

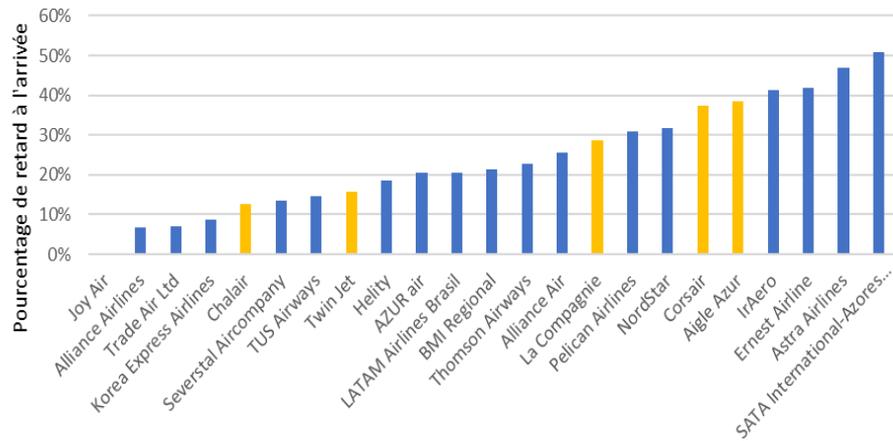
La dégradation estivale s'explique principalement par l'augmentation de la fréquentation des aéroports, et la dégradation au mois de décembre est probablement en partie due à des conditions météorologiques défavorables.

Ponctualité des compagnies aériennes non-low-cost en 2019

Pourcentages de retards à 15 min à l'arrivée
des compagnies non low-cost
réalisant moins de 1 000 vols en 2019

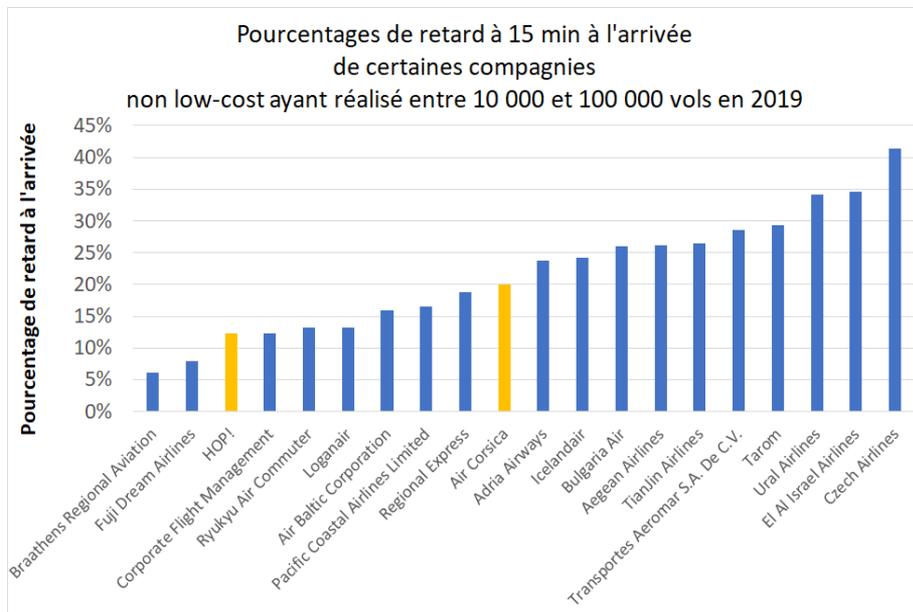


Pourcentage de retard à 15 min à l'arrivée
des compagnies non low-cost en 2019
(compagnies ayant entre 1 000 et 10 000 vols à l'année)



- ☐ Parmi les compagnies étudiées réalisant moins de 10 000 vols en 2019, les compagnies françaises occupent des positions très variables

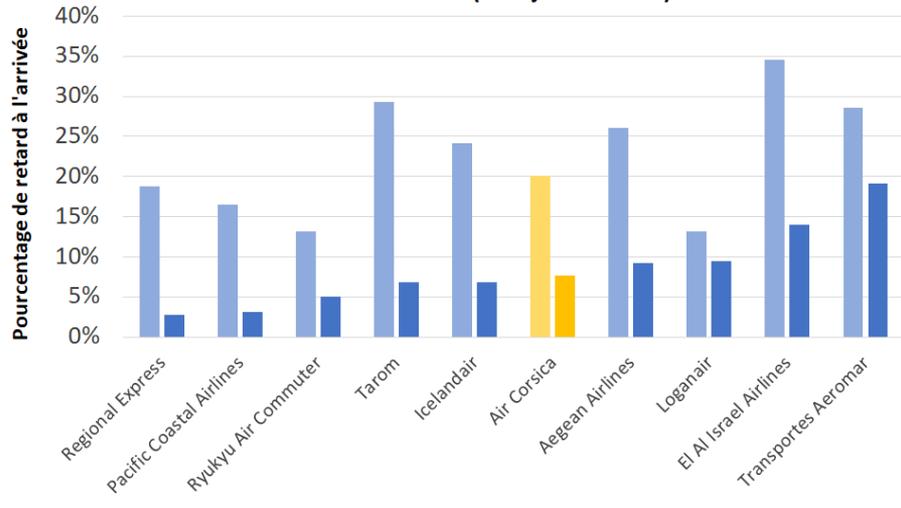
Ponctualité des compagnies aériennes non-low-cost en 2019



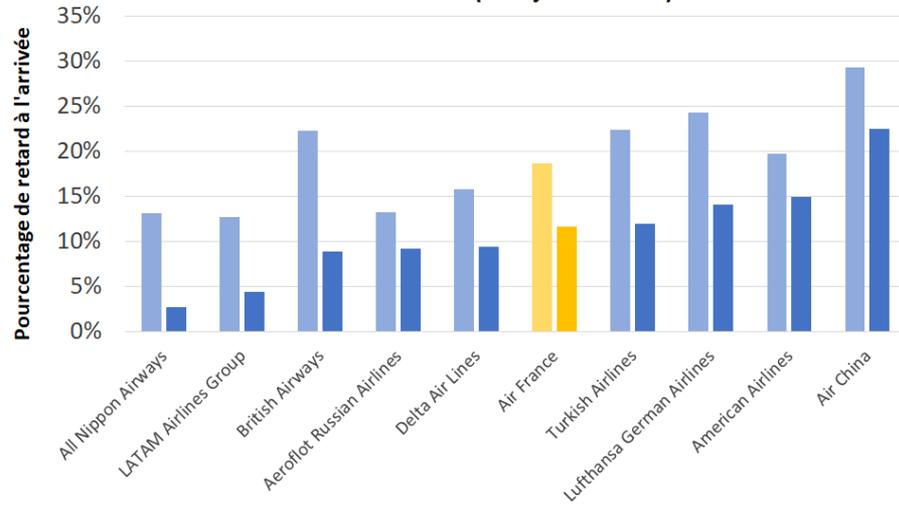
- ❑ Pour l'année 2019, les compagnies françaises Air Corsica et Air France se situent **en position moyenne haute** dans les panels de leurs catégories respectives en termes de performances de ponctualité.
- ❑ La compagnie HOP! (désormais Air France Hop) se situe en **3^{ème} position** du panel de sa catégorie.

Ponctualité des compagnies aériennes non-low-cost au s1 2021 (hors janvier)

Pourcentage de retards à 15 min à l'arrivée de certaines compagnies non low-cost (entre 10 000 et 100 000 vols en 2019) en 2019 et au s1 2021 (hors janvier 2021)



Pourcentage de retards à 15 min à l'arrivée de certaines compagnies non low-cost (plus de 300 000 vols en 2019) en 2019 et au s1 2021 (hors janvier 2021)

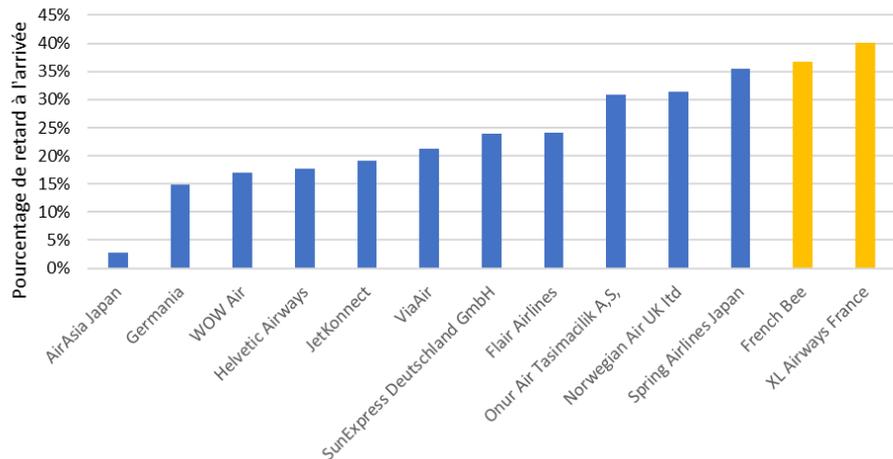


(données de mars 2020 à janvier 2021 non publiées par OAG à ce stade)

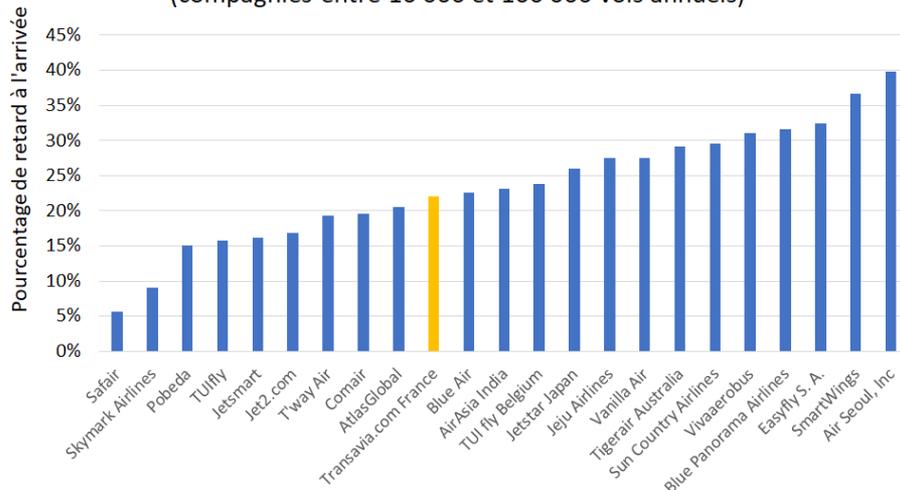
- ❑ La chute du trafic aérien (demande et offre) liée à la crise sanitaire a engendré une amélioration de ponctualité pour l'ensemble des compagnies aériennes non-low-cost des panels contenant Air France et Air Corsica
- ❑ En moyenne, l'amélioration est plus nette encore pour les compagnies du panel contenant Air Corsica, dont l'offre résiduelle de vols réalisés au 1^{er} semestre 2021 est logiquement plus faible

Ponctualité des compagnies aériennes low-cost en 2019

Pourcentages de retards à 15 min à l'arrivée des compagnies low-cost réalisant moins de 10 000 vols en 2019

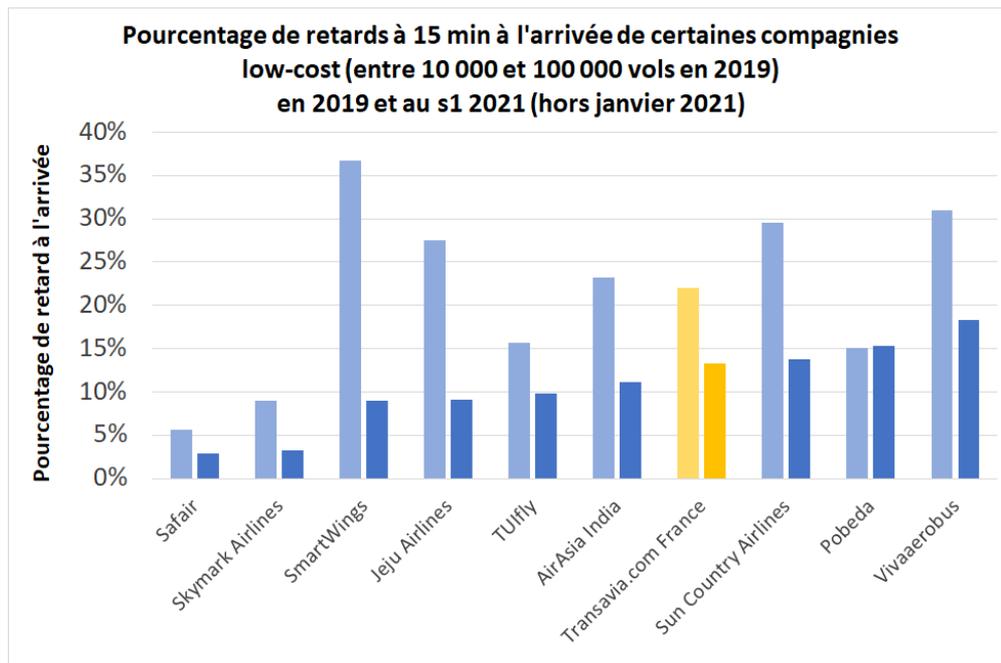


Pourcentages de retard à 15 min à l'arrivée de certaines compagnies low-cost en 2019 (compagnies entre 10 000 et 100 000 vols annuels)



- ❑ Les compagnies low-cost françaises ayant réalisé moins de 10 000 vols en 2019 sont en bas du classement pour le panel étudié
- ❑ La compagnie Transavia se situe dans la moyenne haute du panel retenu pour les compagnies low-cost ayant réalisé entre 10 000 et 100 000 vols en 2019

Ponctualité des compagnies aériennes low-cost au s1 2021 (hors janvier)

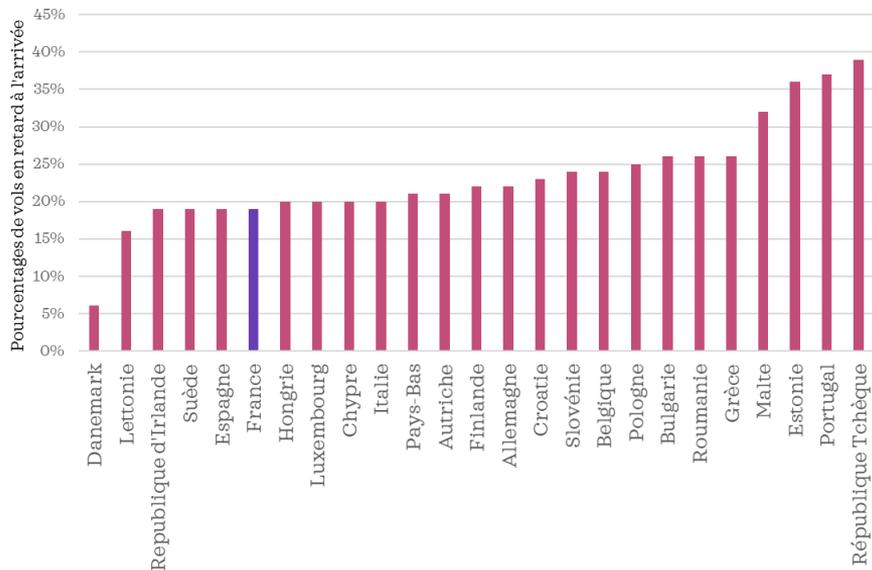


(données de mars 2020 à janvier 2021 non publiées par OAG à ce stade)

- La crise sanitaire s'est également traduite au 1^{er} semestre 2021 par des améliorations de ponctualité par rapport aux niveaux de 2019 pour les compagnies low-cost du panel contenant Transavia, sauf pour la compagnie low-cost russe Pobeda

Ponctualité des compagnies aériennes par pays en 2019

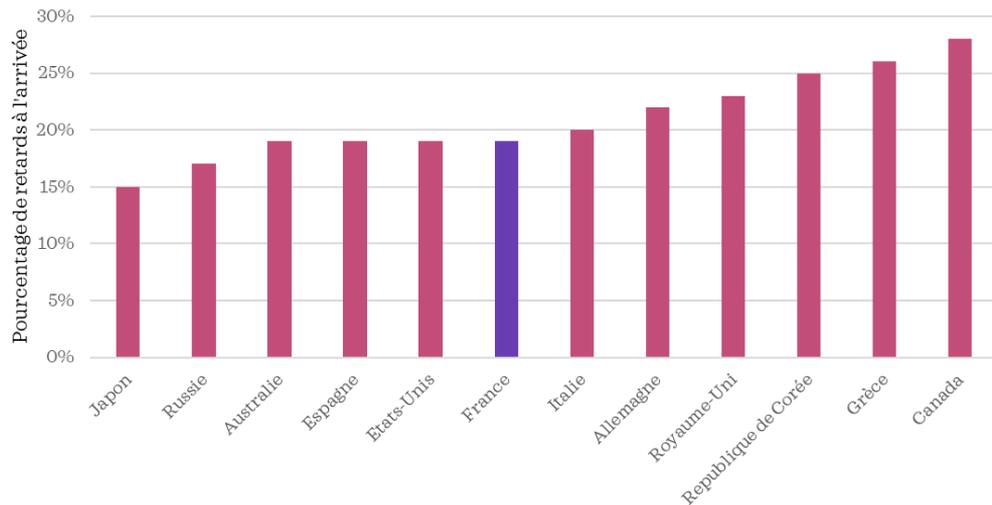
**Pourcentage de retard à 15 min à l'arrivée
 des compagnies aériennes agrégées par pays de l'Union européenne
 (moyenne pondérée du nombre de vols)**



- La France se situe **dans le 1^{er} quart** lorsqu'on agrège les vols des différentes compagnies aériennes par pays de l'Union Européenne (moyenne pondérée du nombre de vols réalisés), principalement grâce au poids d'Air France dans le nombre de vols réalisés.
- En revanche, un test statistique montre qu'on ne peut pas conclure que les vols des compagnies françaises sont davantage ponctuels à l'arrivée que ceux des compagnies des autres pays de l'UE, au seuil 10%

Ponctualité des compagnies aériennes par pays en 2019

Pourcentages de retards à 15 min à l'arrivée
des compagnies agréées par pays en 2019
pour les pays ayant un IDH supérieur à 0,80
(plus de 6 compagnies par pays) (moyenne pondérée du nombre de vols)



- ❑ La France occupe une **position moyenne** en termes de ponctualité des compagnies aériennes (moyenne pondérée du nombre de vols réalisés) parmi les pays à développement humain élevé comptant plus de 6 compagnies, principalement grâce au poids d'Air France dans le nombre de vols réalisés
- ❑ En revanche, un test statistique montre qu'on ne peut pas conclure que les vols des compagnies françaises sont davantage ponctuels à l'arrivée que ceux des compagnies des autres pays très développés possédant plus de 6 compagnies, au seuil 10%

Conclusion

Conclusions

- ❑ Les vols au départ des **aéroports français** présentent une **hétérogénéité** de performances de ponctualité à 15 min au départ en 2019:
 - les 5 aéroports français les plus fréquentés, dont les 2 hubs parisiens, sont **relativement mal classés** dans leurs catégories (résultat statistiquement **significatif au seuil 1%**)
 - Les vols au départ des aéroports de Corse affichent des indices de non-ponctualité **parmi les plus élevés** des panels retenus pour leurs catégories (résultat statistiquement **significatif au seuil 1%**)

- ❑ On observe également une **hétérogénéité** de performances de ponctualité à 15 min à l'arrivée des **compagnies aériennes françaises** en 2019 :
 - 2 des 3 grandes compagnies aériennes françaises hors low-cost affichent **des performances moyennes**, et la 3ème affiche **une bonne performance** dans les panels étudiés pour leurs catégories
 - La compagnie low-cost française réalisant le plus de vols affiche une assez bonne performance (différence des moyennes de ponctualité entre les compagnies françaises et les autres compagnies **non significative au seuil 5%** toutefois)

- ❑ La chute du trafic (demande de passagers et offre de vols réalisés) provoquée par la crise sanitaire s'est traduite par des améliorations de ponctualité des vols au départ des hubs et grands aéroports européens étudiés en 2020, et à l'arrivée au 1^{er} semestre 2021 pour les compagnies aériennes traditionnelles et low-cost des différents échantillons étudiés. Du fait du contexte de la crise sanitaire, la situation des années 2020 et 2021 reste exceptionnelle, et n'appelle donc pas de comparaison avec d'autres années en tant que telle.



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**Conseil général de l'Environnement
et du Développement durable**

Merci de votre attention

Annexes

Tests statistiques sur les tendances identifiées

- ❑ Afin de vérifier la significativité statistique de certaines tendances identifiées au cours de l'étude, on procède à des tests statistiques de comparaison des moyennes de l'indicateur de ponctualité retenu au sein de 2 échantillons :

- Les aéroports de départ français (respectivement les compagnies aériennes françaises) : échantillon 1, de taille n_1 et de moyenne m_1
- Les aéroports de départ étrangers (respectivement les compagnies aériennes étrangères) : échantillon 2, de taille n_2 et de moyenne m_2

- ❑ Afin de disposer de suffisamment d'observations dans l'échantillon 1 pour pouvoir effectuer un test statistique ($n_1 \geq 2$), des regroupements de catégories d'aéroports ou de compagnies aériennes proches en termes de volume de fréquentation passagers ou de trafic (vols réalisés) ont été effectués

- ❑ Les tests statistiques de comparaison des moyennes permettent de savoir si on peut rejeter ou non les hypothèses nulle et alternatives suivantes :

- Hypothèse nulle

$$H_0 : m_1 = m_2$$

- Hypothèse alternative

$$H_1 : m_1 < m_2 \text{ OU } H_1 : m_1 > m_2$$

- ❑ En pratique, on compare un nombre appelé p-value avec un seuil de significativité (ou marge d'erreur) (généralement 5% ou 1%)

⇒ Si la p-value est inférieure au seuil, on peut considérer que m_1 est statistiquement significativement inférieure (respectivement supérieure) à m_2 . Dans le cas contraire, on ne peut pas conclure que les moyennes m_1 et m_2 sont statistiquement différentes au seuil de significativité retenu.

Tests statistiques sur les tendances identifiées

- ❑ Afin de vérifier la significativité statistique de certaines tendances identifiées au cours de l'étude, on procède à des tests statistiques de comparaison des moyennes de l'indicateur de ponctualité retenu au sein de 2 échantillons
- ❑ On choisit le test à effectuer selon la vérification ou non des conditions suivantes portant sur les distributions des observations de l'indicateur de ponctualité au sein des 2 échantillons :
 - Normalité de la distribution au sein des 2 échantillons
 - Égalité des variances (homoscédasticité) des distributions des 2 échantillons

- normalité vérifiée
- égalité des variances
vérifiée

- Test t de Student

- normalité vérifiée
- égalité des variances
non vérifiée

- Test t de Welch

- normalité non vérifiée
- égalité des variances
vérifiée ou non

- Test U de
Wilcoxon-Mann-Whitney

Tests statistiques pour les hubs et grands aéroports

- ❑ Test de comparaison des moyennes des indices de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon au départ des 5 aéroports français les plus fréquentés (moyenne m_1) et l'échantillon au départ des autres hubs et grands aéroports étudiés (moyenne m_2) :
 - Normalité vérifiée (test de Shapiro-Wilk)
 - Égalité des variances (homoscédasticité) non vérifiée (test de Fisher ou test de Barlett)

- ❑ On utilise donc le test t de Welch unilatéral (adapté du test de Student) avec l'hypothèse alternative $m_1 > m_2$:

```
> t.test(HubsEtGrandsAéroports$Ind_Ponctu15min_2019~HubsEtGrandsAéroports$Top5_Aéroport_Français,paired=F,
var.equal=F,alternative = "less")

Welch Two Sample t-test

data: HubsEtGrandsAéroports$Ind_Ponctu15min_2019 by HubsEtGrandsAéroports$Top5_Aéroport_Français
t = -2.9016, df = 26.877, p-value = 0.00366
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -0.562916
sample estimates:
mean in group NON mean in group OUI
 10.11667          11.48000

> t.test(HubsEtGrandsAéroports$Ind_Ponctu15min_2019~HubsEtGrandsAéroports$Top5_Aéroport_Français,paired=F,
var.equal=F,alternative = "less")$p.value
[1] 0.003660472
>
```

- ❑ La p-value est $< 1\%$ donc on accepte l'hypothèse alternative que $m_1 > m_2$ au seuil de significativité 1%

Tests statistiques pour les hubs et grands aéroports

- ❑ Test de comparaison des moyennes des indices de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon au départ des 5 aéroports français les plus fréquentés (moyenne m1) et l'échantillon au départ des autres hubs et grands aéroports étudiés (moyenne m2)
- ❑ La p-value est $< 1\%$, on peut donc en conclure que les vols au départ des 5 aéroports français les plus fréquentés - dont les 2 hubs parisiens - sont moins ponctuels que ceux au départ des autres hubs et grands aéroports retenus au seuil de significativité 1%

Tests statistiques pour les aéroports régionaux et de proximité

- ❑ Test de comparaison des moyennes des indices de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon au départ des 3 aéroports de Corse étudiés (moyenne m_1) et l'échantillon au départ des autres aéroports régionaux et de proximité étudiés (moyenne m_2) :
 - Normalité non vérifiée pour la distribution des indices de retard des vols au départ des 3 aéroports de Corse (test de Shapiro-Wilk)

- ❑ On utilise donc le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney unilatéral avec l'hypothèse alternative $m_1 > m_2$:

```
> wilcox.test(Ind_Ponctu15min_2019~Aéroport_Corse,paired=F,alternative = "less",data=AéroportsRégionauxOuP  
roximité)  
  
Wilcoxon rank sum test  
  
data: Ind_Ponctu15min_2019 by Aéroport_Corse  
W = 11, p-value = 0.006726  
alternative hypothesis: true location shift is less than 0  
  
> wilcox.test(Ind_Ponctu15min_2019~Aéroport_Corse,paired=F,alternative = "less",data=AéroportsRégionauxOuP  
roximité)$p.value  
[1] 0.006725549
```

- ❑ La p-value est $< 1\%$ donc on accepte l'hypothèse alternative que $m_1 > m_2$ au seuil de significativité 1% et on peut conclure que les vols au départ des 3 aéroports de Corse étudiés sont moins ponctuels que ceux au départ des autres aéroports régionaux et aéroports de proximité retenus au seuil de significativité 1%

Tests statistiques pour les compagnies low-cost françaises réalisant le plus de vols

- ❑ Test de comparaison des moyennes des taux de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon des vols à l'arrivée des 2 compagnies low-cost françaises ayant réalisé entre 10 000 et 100 000 vols en 2019 (moyenne m_1) et l'échantillon des vols à l'arrivée des autres compagnies low-cost ayant réalisé entre 10 000 et 100 000 vols en 2019 (moyenne m_2) :

- Normalité non vérifiée pour la distribution des taux de retards des vols de ces 2 compagnies low-cost françaises (2 points)

- ❑ On utilise donc le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney unilatéral avec l'hypothèse alternative $m_1 < m_2$:

```
wilcoxon rank sum test

data: TxRetard15min by Compagnie.Française
W = 35, p-value = 0.14
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(TxRetard15min~ Compagnie.Française,paired=F,alternative = "greater",data=LowCost_Pax10000_10000)$p.value
[1] 0.14
```

- ❑ La p-value est $> 10\%$ donc on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle que $m_1 = m_2$ au seuil de significativité 5% et on ne peut pas conclure que les vols des 2 compagnies low-cost françaises sont davantage ponctuels en moyenne à l'arrivée que ceux des autres compagnies de cette catégorie au seuil de significativité 10%

Tests statistiques sur les compagnies aériennes des pays de l'UE

- ❑ Test de comparaison des moyennes des taux de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon des vols à l'arrivée des compagnies françaises (low-cost et non-low-cost, toutes catégories confondues) (moyenne m_1) et l'échantillon des vols à l'arrivée des compagnies des autres pays de l'Union européenne (moyenne m_2) :
 - Normalité non vérifiée pour la distribution des taux de retards des vols des compagnies des autres pays de l'Union européenne (test de Shapiro-Wilk)
- ❑ On utilise donc le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney unilatéral avec l'hypothèse alternative $m_1 < m_2$:

```
> wilcox.test(TxRetard15min2019~France,paired=F,alternative = "greater",data=compagnies_UE)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: TxRetard15min2019 by France
W = 426, p-value = 0.7227
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(TxRetard15min2019~France,paired=F,alternative = "greater",data=compagnies_UE)$p.value
[1] 0.7226516
```

- ❑ La p-value est $> 10\%$ donc on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle que $m_1 = m_2$ au seuil de significativité 10% et on ne peut pas conclure que les vols des compagnies françaises sont davantage ponctuels en moyenne à l'arrivée que ceux des compagnies des autres pays de l'Union européenne au seuil de significativité 10%

Tests statistiques sur les compagnies des pays très développés

- ❑ Test de comparaison des moyennes des taux de retard à 15 minutes en 2019 entre l'échantillon des vols à l'arrivée des compagnies françaises (low-cost et non-low-cost, toutes catégories confondues) (moyenne m_1) et l'échantillon des vols à l'arrivée des compagnies des autres pays très développés d'IDH $> 0,8$ et possédant plus de 6 compagnies aériennes (moyenne m_2) :
 - Normalité non vérifiée pour la distribution des taux de retards des vols des compagnies des autres pays très développés (test de Shapiro-Wilk)
- ❑ On utilise donc le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney unilatéral avec l'hypothèse alternative $m_1 < m_2$:

```
> wilcox.test(TxRetard15min2019~France,paired=F,alternative = "greater",data=compagnies_IDHsup80)

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: TxRetard15min2019 by France
W = 685, p-value = 0.7516
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(TxRetard15min2019~France,paired=F,alternative = "greater",data=compagnies_IDHsup80)$p.value
[1] 0.751649
```

- ❑ La p-value est $> 10\%$ donc on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle que $m_1 = m_2$ au seuil de significativité 10% et on ne peut pas conclure que les vols des compagnies françaises sont davantage ponctuels en moyenne à l'arrivée que ceux des compagnies des autres pays très développés possédant plus de 6 compagnies, au seuil de significativité 10%